Johannes Kleemann

Halbleiter-Experimente

RPB
Radio-Praktiker-Bücherei
114/114a

Ein System zum Einarbeiten in die Halbleitertechnik

FRANZIS

RPB Radio-Praktiker-Bücherei Titelverzeichnis

Jeder Einfach-Band umfaßt etwa 60–70 Seiten, enthält bis zu 70 Bilder und Tabellen. Mehrfach-Bände entsprechend. Die Nummer vor dem Titel ist die Bestell-Nummer. Preisänderungen und Lieferm[illegible]möglichkeiten vorbehalten.

Preise: Einfach-Band DM 2.90; Doppel-Band DM 5.60; Dreifach-Band DM 7.9[illegible]

1 Endröhren und Endstufen-Transistoren und ihre Schaltungen (Sutaner). 3. Aufl.

3/5 UKW-FM-Rundfunk-Praktikum (Mende). 6. Aufl.

6 Antennen für Rundfunk- und Fernseh-Empfang (Mende). 12. Aufl.

7/8 Niederfrequenz-Verstärker mit Röhren und Transistoren (Kühne). 13. Aufl.

9/10 Tonbandgeräte-Praxis (Junghans). 10. Aufl.

11/12 Mono-, Stereo- und Transistor-Mikrofone (Kühne). 8. Aufl.

[illegible]3 Schliche und Kniffe für Radiopraktiker, Teil I (Kühne). 9. Aufl.

[illegible] Wellen und Frequenzen für Rundfunk und Fernsehen (Büscher). 4. Aufl.

[illegible]6 Widerstandskunde für Radio-Praktiker (Hoffmeister). 6. Aufl.

18/19 Radio-Röhren (Mende). 3. Aufl.

20 Methodische Fehlersuche in Rundfunkempfängern (Renardy). 12 Aufl.

21/21a Funktechniker lernen Formelrechnen (Kunze). 7. Aufl.

22/23a Lehrgang Radiotechnik Band I (Jacobs). 11. Aufl.

24/25a desgl., Band II (Jacobs). 7. Aufl.

27/27a Rundfunkempfang mit Transistoren und Detektoren (Mende). 12. Aufl.

28/28b Glimmröhren und Kaltkatoden-Relaisröhren (Herrnkind). 5. Auflage.

29/30 Kleines ABC der Elektroakustik (Büscher). 5. Aufl.

31/32 Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure I. Teil (Steinhauser). 10. Aufl.

33/35 Dioden-, Röhren und Transistor-voltmeter (Limann). 7. Aufl.

37/38 Fehlersuche durch Signalverfolgung und Signalzuführung (Renardy). 5. Aufl.

41/41a Kurzwellen- und UKW-Empfänger für Amateure Band 1. Geradeausempfänger und Standardsuper (Diefenbach). 11. Aufl.

42/42b desgl., Band 2. Spitzensuper und Transistorempfänger (Diefenbach).

43 Musikübertr.-Anlage (Kühne). 5. Aufl.

44/44b KW- und UKW-Amateurfunk-Antennen (Diefenbach). 8. Aufl.

45/46 UKW-Sender- und Empfänger-Baubuch für Amateure (Steinhauser). 7. Aufl.

50 Prakt. Antennenbau (Mende). 13. Aufl.

52/54d Fernsehempfangstechnik (Koubek). DM 18.30.

55/56a Fernsehtechnik von A bis Z (Conrad). 5. Aufl.

57 Tönende Schrift (Kluth). 2. Aufl. DM 1.90.

58 Morselehrgang (Diefenbach). 8. Aufl.

59 Funk-Entstörungs-Praxis (Mende). 4. Aufl.

60 Die Widerstand-Kondensator-Schaltung. Einführung in die RC-Schaltungstechnik (Schneider). 6. Aufl.

62/62a Englisch für Radio-Praktiker (Stellrecht/Miram). 4. Aufl.

66/67 Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure II. Teil (Steinhauser). 5. Aufl.

68/70 Formelsammlung für den Radio-Praktiker (Rose). 10. Aufl.

71 Bastelpraxis Band I. Allgemeine Arbeitspraxis (Diefenbach). 8. Aufl.

72/73 Drahtlose Fernsteuerung von Flugmodellen (Schultheiss). 5. Aufl.

74 Einkreis-Empfänger mit Röhren und Transistoren (Sutaner). 6. Aufl.

76 Bastelpraxis Band II. Theoretische und praktische Grundlagen (Diefenbach). 8. Aufl.

77/77a Der Selbstbau von Meßeinrichtungen für die Funkwerkstatt (Nieder). 6. Aufl.

79/79a Bastelpraxis Band III. Praktischer Aufbau von einfachen Prüfgeräten und Empfängern vom Detektor bis zum Super, dazu Verstärker, KW- und Zusatzgeräte (Diefenbach). 8. Aufl.

80/80b Das Spulenbuch – Hochfrequenzspulen (Sutaner). 6. Aufl.

Halbleiter-Experimente

Ein System zum Einarbeiten in die Halbleitertechnik

Von

JOHANNES KLEEMANN

Diplom-Physiker

Mit 98 Bildern und 43 Tabellen

3., erweiterte Auflage

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

Nr. 114/114a der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

Cellu-Band

1971

Franzis-Verlag G. Emil Mayer KG

Sämtliche Rechte – besonders das Übersetzungsrecht – an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Bilder, auch in verändertem Zustand, sind verboten.

Druck: G. Franz'sche Buchdruckerei G. Emil Mayer, München 2, Karlstraße 35
Printed in Germany. Imprimé en Allemagne.

ISBN 3-7723-1143-1

Vorwort

Geräte oder Einrichtungen mit Halbleiterbauteilen sind heute nahezu in jedermanns Hand. Damit wird auch der Kreis derer, die sich mit Halbleitern beschäftigen oder sich dafür interessieren, immer größer. So sind es heute nicht mehr nur die Elektroniker, die sich über die Anwendungsmöglichkeiten von Halbleitern Gedanken machen, sondern auch für viele andere Berufe ist die Kenntnis der spezifischen Eigenschaften der Halbleiter von Bedeutung.

Ausgehend von der Tatsache, daß viele Menschen sich lieber ein Wissensgebiet auf dem experimentellen Wege als auf dem rein theoretischen erarbeiten wollen, wird hier versucht, an Hand von geeigneten Versuchsbeschreibungen eine Einführung in die Halbleitertechnik zu geben. Die in diesem Band besprochenen Halbleiter-Experimente sollen nur eine kleine Auswahl der zahlreichen Experimentiermöglichkeiten, die nach diesem System durchführbar sind, darstellen. Jeder, der gerne experimentell mit Halbleiterbauelementen umgeht, wird bald herausfinden, daß sich dieses Experimentiersystem sehr gut dazu eignet, eigene Schaltungsentwürfe und Ideen in der Praxis zu erproben.

Vorwort zur 3. Auflage

Die vorliegende 3. Auflage dieses Radio-Praktiker-Bandes wurde noch durch zahlreiche neue und aktuelle Versuche mit wichtigen Halbleiter-Bauelementen, wie zum Beispiel dem Thyristor, dem Triac, der Tunneldiode, der Vierschichtdiode und dem Unijunktion-Transistor, erweitert.

Trotz dieser umfangreichen Ausweitung der Experimentiermöglichkeiten sind hierdurch keine nennenswerten Änderungen des ursprünglichen Systems notwendig geworden. Somit können auch diejenigen, die schon diese Experimentiergeräte besitzen, sofort damit beginnen, diese lehrreichen und neuen Schaltungen der 3. Auflage zu erproben.

Die immer wieder in den Text eingefügten Meßdaten und Oszillogramme sollen die Kontrolle, ob die aufgebauten Experimentierschaltungen einwandfrei arbeiten oder nicht, erleichtern.

Stuttgart-Obertürkheim Johannes Kleemann

Inhalt

1 Das Experimentiersystem 7
1.1 Gute Kennzeichnung der Frontplatten 8
1.2 Klare Versuchsanweisungen 8
1.3 Die Schaltungen werden nur gesteckt 9

2 Schaltung und Aufbau des Grundgerätes 10

3 Die Versuchsanweisungen zum Gerät 15
3.1 Änderung der Widerstandswerte 16
3.2 Änderung des Kapazitätswertes 17
3.3 Änderung der Betriebsspannung 17
3.4 Verwendung neuer Bauelemente 18

4 Versuchsanordnungen für Transistormessungen 20
4.1 Versuchsvorbereitung 20
4.2 Der Stromverstärkungsfaktor 22
4.3 Temperaturdurchgriff 22
4.4 Aufnahme des Kollektorstromes als Funktion der Kollektorspannung 23
4.5 Aufnahme des Kollektorstromes als Funktion der Basisspannung 25
4.6 Eingangskennlinien als Funktion der Basisspannung 27
4.7 Stromgegenkopplung 28
4.8 Aufnahme der Kennlinie einer Zenerdiode 30

5 Schaltungsaufbau mit dem Experimentiergerät 32
5.1 Elektronisches Thermometer 32
5.2 Einfacher Fotostromverstärker 33
5.3 Das Transistorrelais 34
5.4 Modell eines elektronischen Thermometers mit Grenzwertsignalisierung 35
5.5 Modell einer Lichtschranke 36
5.6 Modell eines Dämmerungsschalters 37
5.7 Widerstandsmeßgerät zum Bestimmen von hochohmigen Widerständen 38
5.8 Der Transistor als Schalter 39
5.8.1 Der Glühlampenanzeiger 40
5.8.2 Emittergekoppelter Glühlampenanzeiger 41
5.9 Signalschema für den Glühlampenanzeiger 42
5.10 Anzeige des Signalzustandes eines Transistors durch eine Signalglimmlampe 44

6 Stabilisierungsschaltungen 46
6.1 Stabilisierung durch eine Zenerdiode 46
6.2 Stabilisierungsschaltung mit höherer Leistung 47
6.3 Spannungsstabilisierung auf optischem Wege 48

7 Versuche mit der Vierschichtdiode 51
7.1 Die Vierschichtdiode als Schalter 51
7.2 Kennlinienaufnahme 52
7.3 Sägezahngenerator mit Vierschichtdiode 54
7.4 Sinusoszillator mit Vierschichtdiode 56

8 Die Tunneldiode 59
8.1 Kennlinienaufnahme 59
8.2 Astabiler Multivibrator mit Tunneldiode TD 716 61

9 Versuche mit dem Unijunktion-Transistor 64
9.1 Astabiler Multivibrator 64
9.2 Elektronische Sirene 66
9.3 Zeitrelais mit einem Unijunktion-Transistor 67

10 Thyristoren und Triacs 69
10.1 Thyristor als Relais in Selbsthaltung 69
10.2 Widerstandsmessung am Thyristor 71
10.3 Verhalten des Triacs bei Gleichstrombetrieb 72
10.4 Thyristor als Relais ohne Selbsthaltung 72
10.5 Phasenanschnittsteuerung 76

11 Versuche mit dem Diac 77
11.1 Kennlinie des Diacs 77
11.2 Multivibrator mit einem Diac 79

12 Zusatzgerät für Schaltungen mit zwei Transistoren 81
12.1 Emittergekoppelter zweistufiger Gleichstromverstärker ... 82
12.2 Kollektorgekoppelter zweistufiger Gleichspannungsverstärker 83
12.3 Wechselspannungsverstärker 84

13 Multivibratorschaltungen 86
13.1 Der astabile Multivibrator 86
13.2 Astabiler Multivibrator mit komplementären Transistoren 90
13.3 Multivibrator mit Induktivitäten 92
13.4 Multivibrator mit gekoppelten Induktivitäten 95
13.5 Der monostabile Multivibrator 96
13.6 Monostabiler Multivibrator mit Lichtrückkopplung 98
13.7 Der bistabile Multivibrator 99

14 Sonderschaltungen 102
14.1 Der Schmitt-Trigger 102
14.2 Modell eines kontaktlosen Relais mit einer Feldplatte 104

Literatur 109

Sachverzeichnis 110

1 Das Experimentiersystem

Die hier beschriebene Methode kann als eine Weiterentwicklung des im Telefunken-Fachbuch „Der Transistor" beschriebenen und zum Nachbau empfohlenen Experimentiergerätes angesehen werden. Mit dem dort beschriebenen Experimentiergerät kann man wichtige Grundversuche mit Transistoren durchführen, jedoch fehlt die Möglichkeit, weitere Halbleiter-Bauelemente in die Versuche einzubeziehen. Durch Zusatzgeräte und steckbare Bauelemente wurde jedoch diese Methode so erweitert, daß nach demselben Prinzip eine Vielzahl von elektronischen Schaltungen ohne Lötarbeit aufgebaut werden kann. Das System ist dabei so ausgearbeitet, daß damit auch Neulinge auf dem Gebiet der Elektronik ohne Schwierigkeiten umgehen können. **Bild 1** zeigt das Grundmodell der Experimentieranordnung. Diesem erweiterten System liegen folgende Gedanken zugrunde:

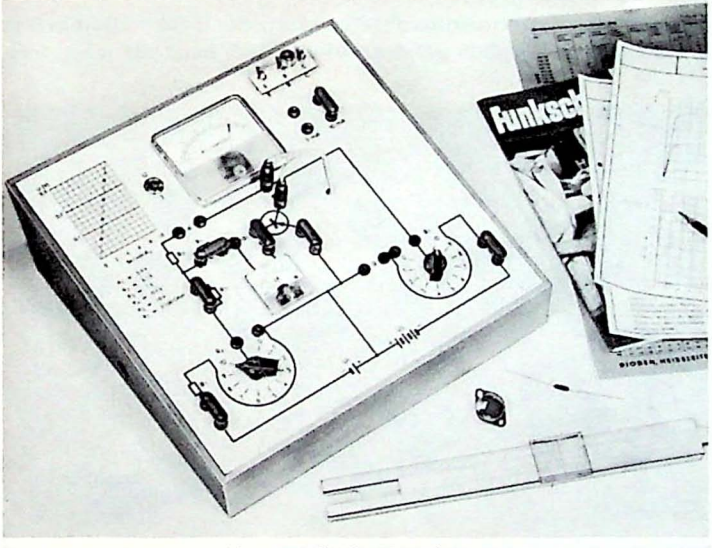


Bild 1. Ansicht des Grundgerätes

1.1 Gute Kennzeichnung der Frontplatten

Auf sämtlichen Front- und Bedienungsplatten der einzelnen Experimentiergeräte sind die tatsächlich vorhandenen Leitungswege und die festeingebauten Schaltelemente symbolisch aufgetragen. Die Leitungswege sind an verschiedenen mit kleinen Buchstaben bezeichneten Stellen unterbrochen. Diese mit Buchstaben bezeichneten Trennstellen können entweder durch Verbindungsstecker (auch Kurzschlußstecker genannt) oder durch steckbare Bauelemente verschiedener Art und Größe überbrückt werden (**Bild 2**). Da bei diesem System die meisten Leitungen, die für die Versuche benötigt werden, bereits in den Geräten fest verdrahtet und auf der Frontplatte in ihrem Verlauf schaltbildmäßig dargestellt sind, bleiben auch umfangreiche Versuchsanordnungen übersichtlich. Die Experimentiergeräte sind daher auch besonders gut geeignet, bestimmte elektronische Vorgänge einem Zuhörerkreis auf anschauliche Weise zugänglich zu machen.

1.2 Klare Versuchsanweisungen

Da auf den Experimentiergeräten sämtliche Steckmöglichkeiten mit kleinen Buchstaben gekennzeichnet sind, kann für jeden aus-

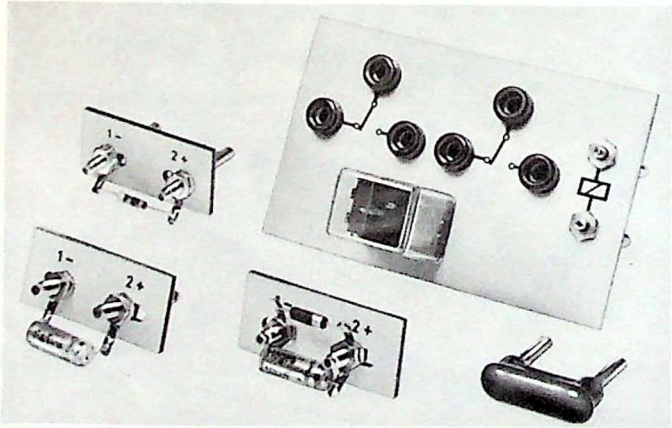


Bild 2. Die Bauelemente sind auf Kunststoffplättchen mit Steckern montiert

gearbeiteten Versuch eine klare und kurze Versuchsanweisung festgelegt werden. Diese Anweisung wird in Form eines Steckerschemas gegeben, aus dem hervorgeht, wo ein Verbindungsstekker, ein bestimmtes Bauelement, eine Kabelverbindung oder ein Meßgerät zu stecken bzw. in die Leitungswege einzuschalten ist. Auf diese Weise ist man auch ohne praktische Erfahrung auf dem Gebiet der Elektronik in der Lage, umfangreiche Schaltungen erfolgreich zu erproben und in ihrer Funktion eingehend kennenzulernen.

1.3 Die Schaltungen werden nur gesteckt

Die Versuchsanweisungen werden neben dem Schaltbild in Form eines Steckerschemas gegeben. Sobald die in diesem Schema aufgeführten Verbindungsstecker und Bauelemente an den entsprechenden Stellen eingefügt sind, wird man beim Verfolgen der Leitungswege feststellen, daß dadurch die gewünschte Versuchsschaltung entstanden ist.

2 Schaltung und Aufbau des Grundgerätes

In **Bild 3** ist die Schaltung des Grundgerätes wiedergegeben. Entsprechend den zuvor beschriebenen Grundgedanken des Systems sind sämtliche Leitungswege und Symbole auf einer weißen Kunstharzplatte im Unterdruckverfahren aufgetragen. Diese Platte ist gleichzeitig die Front- und Bedienungsplatte des Gerätes. Die Trennstellen in den Leitungswegen sind mit Buchsen versehen. Sie sind durch kleine Buchstaben bezeichnet und können durch Verbindungsstecker oder Bauelemente überbrückt werden. Die Buchsen zum Anschließen des Experimentiertransistors befinden sich in der rechten oberen Ecke des Grundgerätes und sind mit E (Emitter), B (Basis) und C (Kollektor) bezeichnet. Diese Buchsen sind wiederum direkt mit den entsprechenden Buchsen am Transistorsymbol verbunden.

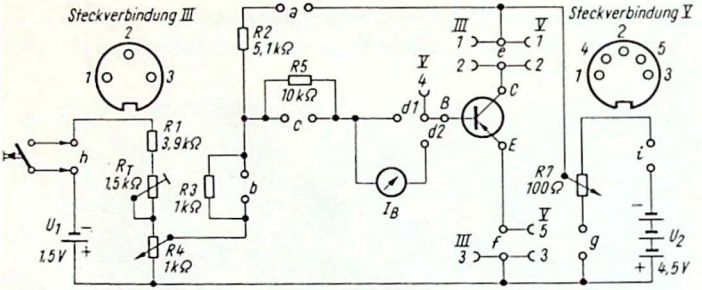


Bild 3. Die Schaltung des Grundgerätes. Zur besseren Übersicht sind die Verbindungen zu den Buchsen III und V nur angedeutet

Der Experimentiertransistor selbst ist auf einem Kunststoff-Steckerplättchen montiert (**Bild 4**). Er kann auf diese Weise schnell und sicher an das Grundgerät angeschlossen werden. Halbleiterbauelemente, die nicht auf Steckerplättchen montiert sind, können über in die Buchsen E, B und C einsteckbare Krokodilklemmen mit dem Grundgerät verbunden werden. Die Transistoranschlüsse liegen zunächst vollständig frei in der Schaltung.

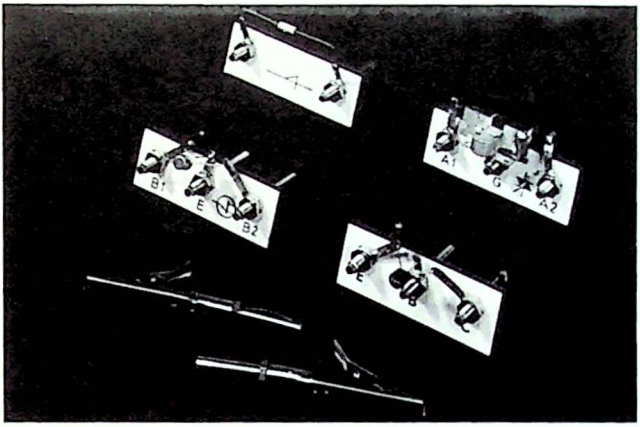


Bild 4. Auf dreipolige Steckerplättchen montierte Experimentier-Transistoren, Thyristoren, Unijunktion-Transistoren und steckbare Krokodilklemmen zum Anschließen von nicht montierten Halbleiterbauelementen

Sie können aber entweder durch Meßinstrumente, Verbindungsstecker oder andere Bauelemente an die eingebauten Leitungswege angeschlossen werden.

Zur Stromversorgung stehen zwei Batterien mit den Spannungen U_1 und U_2 zur Verfügung. Sie sind auf der Unterseite des Gerätes montiert und können nach Abschrauben des Batteriedeckels leicht ausgewechselt werden (**Bild 5**). Die Batterie mit der Spannung U_1 dient zum Erzeugen der Basisspannung. Wie man aus der Schaltung Bild 3 ersieht, wird die Batteriespannung U_1 an einen Spannungsteiler gelegt, der sich aus dem Widerstand R 1, dem Trimmer R_T und dem Potentiometer R 4 zusammensetzt. Der Gesamtwiderstandswert des Spannungsteilers wird mit dem Trimmer R_T gerade so eingestellt, daß an dem Potentiometer R 4 eine Spannung von 300 mV abfällt. Für R 4 wird ein lineares Potentiometer verwendet, so daß sich zwischen dem Drehwinkel und der abgegriffenen Spannung ebenfalls ein linearer Zusammenhang ergibt.

Die abgegriffene Spannung kann über Verbindungsstecker direkt der Basis des Transistors zugeführt werden. Dazu gibt eine

Bild 5. Die Batterien sind von der Unterseite des Grundgerätes leicht zugänglich

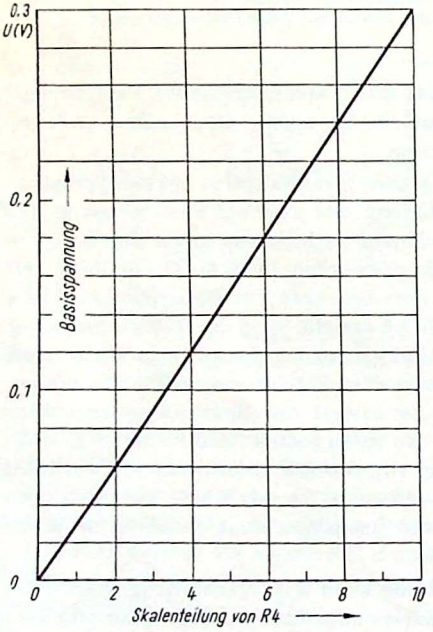


Bild 6. Eichkurve zum Bestimmen der Basisspannung aus der Zeigerstellung des Potentiometers R 4. Diese Eichkurve befindet sich auch auf der Frontplatte des Grundgerätes

auf dem Gerät angebrachte Eichkurve (**Bild 6**) je nach Stellung des Zeigerknopfes von R 4 die dazugehörige Basisspannung an. Zum Aufnehmen von Kennlinien ist es wichtig, daß dem Transistor nur kurzzeitig zum Ablesen des jeweiligen Meßwertes eine Basisspannung zugeführt wird, da sonst, wie später erläutert wird, durch Eigenerwärmung des Transistors das Ergebnis erheblich verfälscht werden kann. Daher kann im Grundgerät die Spannung U_1 nicht nur über einen Verbindungsstecker im Buchsenpaar h, sondern auch über einen Ein-Taster an den Spannungsteiler zum Erzeugen der Basisspannung gelegt werden.

Die Batteriespannung U_2 kann über den einstellbaren Widerstand R 7 an den Emitter-Kollektorkreis des Transistors angeschlossen werden, sobald die Trennstelle i überbrückt wird. Wird an der Trennstelle g in Bild 3 ein Verbindungsstecker eingesteckt, so läßt sich am Potentiometer R 7 die Spannung U_2 von Null bis zum vollen Wert stufenlos abgreifen und dem Transistor als Kollektorspannung zuführen. Mit dem Potentiometer R 7 ist man also bei diesem Gerät in der Lage, von der Kollektorspannung U_{CE} abhängige Kennlinien aufzunehmen. Die abgegriffene Spannung selbst kann mit einem Spannungsmesser an den Ausgangsklemmen des Potentiometers R 7 kontrolliert werden.

In das Grundgerät sind zwei Strommesser eingebaut. Der eine wird ausschließlich dafür verwendet, während der Versuche den Basisstrom I_B des Experimentier-Transistors zu messen. Da dieses Instrument nur einen Meßbereich von 0 bis 1 mA hat, ist darauf zu achten, daß es durch Umstecken des Verbindungssteckers d 2 nach d 1 von der Basisleitung abgetrennt wird, wenn der Basisstrom über 1 mA ansteigt. Der zweite Strommesser hat drei Meßbereiche 0...1 mA, 0...5 mA und 0...10 mA. Der gewünschte Meßbereich kann mit einem Verbindungsstecker ausgewählt werden. Über ein flexibles, zweiadriges Kabel kann dieser Strommesser in jede beliebige Stelle der aufgebauten Schaltung eingeschaltet werden. Bei Versuchen mit dem Grundgerät wird man in den meisten Fällen mit diesem Strommesser den Kollektorstrom des Experimentier-Transistors kontrollieren. Dieser Strommesser ist in Bild 1 oben zu sehen; in Bild 3 ist er nicht dargestellt, weil er beliebig in die Schaltung eingefügt werden kann.

Da für verschiedene Versuche ein Spannungsmesser erforderlich ist, wird durch Vorschalten eines 10-kΩ-Widerstandes der eingebaute zweite Strommesser im 1-mA-Meßbereich zu einem Spannungsmesser gemacht. Man kann dann mit diesem Meßinstrument in der Schalterstellung U Gleichspannungen von 0 bis 10 V messen (**Bild 7**).

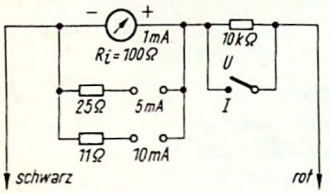


Bild 7. Schaltung des eingebauten zweiten Strom- und Spannungsmessers

In das Grundgerät läßt sich noch ein weiterer mehrpoliger Umschalter einbauen. Hiermit können dann die Spannungen U_1 und U_2 sowie die eingebauten Meßgeräte mit einem Handgriff umgepolt werden. Damit ist man in der Lage, mit diesem Gerät nicht nur pnp-Germanium-Transistoren, sondern auch Transistoren vom npn-Typ (Silizium-Transistoren) experimentell zu untersuchen.

Sämtliche beschriebenen Teile und Geräte, einschließlich der Verdrahtung, sind auf der Frontplatte montiert und in das pultförmige Edelholzgehäuse nach Bild 1 eingebaut, so daß die gesamte Versuchsausrüstung transportabel ist. Auf der rechten und linken Seite des Gehäuses befinden sich eine drei- und eine fünfpolige Steckverbindung zum Anschließen von Zusatzgeräten. Die Art der Verdrahtung und die hier verwendeten Steckverbindungen lassen für das dargestellte Experimentiergerät nur Versuche innerhalb des Tonfrequenzbereiches zu. Auf die Bedeutung der noch verbleibenden Widerstände im Grundgerät wird im einzelnen bei der Besprechung der betreffenden Experimentier-Schaltungen eingegangen.

3 Die Versuchsanweisungen zum Gerät

Als Beispiel ist in **Tabelle 1** das Steckerschema für den Betrieb eines astabilen Multivibrators für eine Kippfrequenz von 1 Hz wiedergegeben. In diesem Schema geben die Querbalken unter den kleinen Buchstaben an, an welcher Stelle Verbindungsstecker bzw. Niedervoltelektrolyt-Kondensatoren richtig gepolt zu stekken sind. An der mit n bezeichneten Stelle ist ein Strommesser mit einem Meßbereich von 5 mA in der richtigen Polung einzuschalten. Außerdem wird das Zusatzgerät über die fünfpolige Steckverbindung an das Grundgerät angeschlossen. Für diesen Versuch, wie auch für alle übrigen Versuche, werden zwei Transistoren vom Typ AC 151/V verwendet. Selbstverständlich können die nachfolgenden Versuchsbeschreibungen auch mit anderen Nf-Transistoren, wie zum Beispiel mit Transistoren vom Typ 2 N 1190 oder AC 116, ausgeführt werden.

Tabelle 1

Grund-	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i		T 1
gerät	–		–		–		–		–			AC 151
Zusatz-	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	T 2
gerät I	25			5	–	–					25	AC 151
	µF			mA							µF	

Auf den ersten Blick mag vielleicht der Eindruck entstehen, als ob diese Methode dem Experimentierenden sehr wenig Freiheit in der Ausführung eines Versuches lassen würde, da jeder Versuch nach einem vorgeschriebenen Schema aufgebaut wird. Wenn man sich aber eine gewisse Sicherheit im Umgang mit Halbleitern erworben hat, wird man feststellen, daß fast alle hier beschriebenen Versuche noch sehr wandlungsfähig sind. Außerdem erlaubt es dieses System, Versuchsschaltungen nach eigenen Überlegungen aufzubauen und zu erproben.

Nicht alle Versuche, die hier besprochen werden, können allein mit den in die Geräte fest eingebauten Bauelementen und

Leitungswegen ausgeführt werden. Es ist daher in verschiedenen Fällen notwendig, auch außenliegende Bauelemente und Verbindungskabel mit in den Versuchsaufbau einzubeziehen. Dabei ist zu beachten, daß alle festeingebauten Widerstände und Kondensatoren in den Experimentier-Schaltungen mit Zahlen bezeichnet sind (z. B. R 1, R 2, C 4). Alle außenliegenden Widerstände und Kondensatoren werden dagegen mit Buchstaben gekennzeichnet (z. B. R A, R B, C D). Auf welche Weise die außenliegenden Bauelemente mit den Geräten zu verbinden sind, geht aus den in den Tabellen angegebenen Anweisungen in übersichtlicher Form hervor.

Bei diesen hier beschriebenen Geräten bestehen folgende Möglichkeiten zur Erweiterung des Experimentiersystems:

3.1 Änderung der Widerstandswerte

Beim Parallelschalten eines Zusatzwiderstandes R_Z zu einem eingebauten Widerstand R_E gilt bekanntlich

$$R_{ges} = \frac{R_E \cdot R_Z}{R_E + R_Z}$$

und für die Reihenschaltung eines Zusatzwiderstandes

$$R_{ges} = R_E + R_Z$$

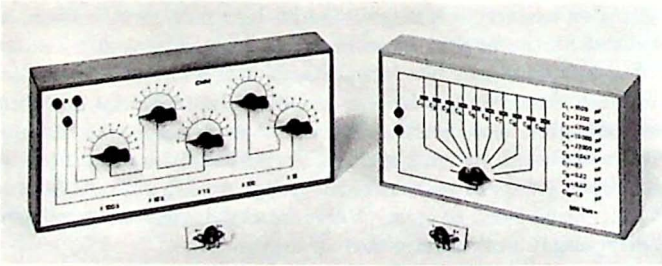


Bild 8. Widerstandsdekaden, Kapazitätsdekaden und auf Steckerplättchen montierte regelbare Widerstände, zur Erweiterung des Experimentiersystems

Als außenliegenden Widerstand R_Z wird man in vielen Fällen einen veränderlichen Widerstand in Form einer Widerstandsdekade oder eines auf einem Steckerplättchen montierten Einstellreglers verwenden (**Bild 8**). Damit hat man die Möglichkeit, eine Schaltung optimal einzustellen oder ein Zeitglied zu verändern.

3.2 Änderung des Kapazitätswertes

Für das Parallelschalten eines Zusatzkondensators C_Z zu einem eingebauten Kondensator C_E gilt

$$C_{ges} = C_E + C_Z$$

Es ist zum Experimentieren von Vorteil, wenn man für die außenliegenden Kondensatoren Kapazitätsdekaden zur Verfügung hat. Damit lassen sich beispielsweise bei Multivibratorschaltungen die Zeitkonstanten, die Frequenz und das Tastverhältnis verändern.

3.3 Änderung der Betriebsspannung

Für verschiedene Versuche reichen die Leistung oder die Spannung der eingebauten Batterie nicht aus. In diesen Fällen muß dann an das Grundgerät eine fremde Stromquelle angeschlossen werden. Ist die Stromstärke der eingebauten Batterie für den Versuch ausreichend, jedoch die Spannung zu niedrig, dann schaltet man an Stelle des Verbindungssteckers an die Buchsen i eine Zusatzbatterie an, die die fehlende Spannung ergänzt.

Reicht die Stromstärke der eingebauten Batterie nicht aus, so wird in richtiger Polung eine geeignete Zusatzbatterie an die Buchsen g und i angeschlossen. Die eingebaute Batterie ist damit ganz ausgeschaltet.

An die Buchsen g und i kann auch ein beliebiges Experimentiernetzgerät angeschlossen werden, welches über eine stufenlos veränderbare Gleichspannung von 0...35 Volt und eine Stromstärke von 1 A verfügt. Hiermit lassen sich die hier beschriebenen Versuche besonders bequem durchführen.

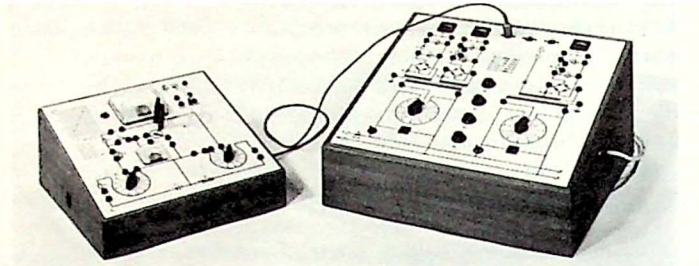


Bild 9. Das Universal-Experimentier-Netzgerät kann über eine dreipolige Steckverbindung an das Experimentiersystem angeschlossen werden

Das in **Bild 9** gezeigte Netzgerät kann direkt über die 3polige Steckverbindung an das Grundgerät angeschlossen werden. Dieses Netzgerät liefert außer einer veränderbaren Gleichspannung auch noch eine stufenlos, von 0 bis 30 Volt einstellbare Wechselspannung.

3.4 Verwendung neuer Bauelemente

In **Bild 10** ist als Beispiel gezeigt, auf welche Weise an das Grundgerät eine Fotodiode an den Eingang des Experimentier-Transistors geschaltet werden kann. In dieser Schaltung liefert die Fotodiode bei Belichtung die Basisspannung für den Transistor, während das Potentiometer R 4 ausgeschaltet ist. In ähnlicher Weise können an das Grundgerät weitere Halbleiter-Bauelemente, wie Heißleiter, Hallgeneratoren oder Zenerdioden, angeschlossen werden.

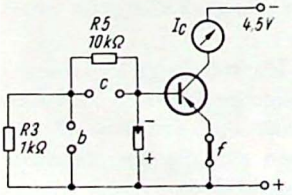


Bild 10. So wird eine Fotodiode an den Eingang des Experimentier-Transistors im Grundgerät angeschlossen

Man kann außerdem über die Buchsen E, B und C (Bild 3) andere Halbleiterbauelemente als Transistoren an die Geräte anschließen. Hierdurch erweitert sich das System in einem sehr beachtlichen Umfang. Man muß allerdings in Kauf nehmen, daß, wenn man beispielsweise Thyristoren oder Triacs in diese Buchsen einsteckt, die Transistorsymbole auf der Frontplatte nicht mehr zutreffend sind. Wem jedoch diese Tatsache Schwierigkeiten bereitet, der kann leicht das Transistorsymbol durch Einstecken des zutreffenden Symbols überdecken.

Zweipolige Bauelemente wie Dioden und Diacs werden lediglich in Buchsen E und C eingesteckt.

4 Versuchsanordnungen für Transistormessungen

Anhand von einigen grundlegenden Versuchen soll nun gezeigt werden, wie vielseitig dieses Grundgerät verwendet werden kann. Man ist hiermit in der Lage, einerseits sehr anschaulich die Eigenschaften von Transistoren zu studieren und deren Kennlinienfelder punktweise aufzunehmen; andererseits können aber auch interessante Schaltkombinationen mit anderen Halbleiter-Bauelementen aufgebaut werden. Sämtliche nachfolgend besprochenen Schaltungen sind eingehend erprobt und können selbstverständlich auch ohne weiteres in fliegender Verdrahtung nachgebaut werden. Die mit diesen Geräten durchführbaren Schaltungen sind so umfangreich, daß im Rahmen dieses Buches nur ein Teil der gegebenen Experimentiermöglichkeiten besprochen werden kann. Die Schaltungsbeispiele wurden jedoch so ausgewählt, daß trotzdem ein geschlossener Überblick über dieses Experimentiersystem entsteht.

4.1 Versuchsvorbereitung

Bevor mit dem Aufnehmen von Kennlinien oder mit der Ausführung von irgendwelchen Schaltungen begonnen wird, sollen zunächst mit dem eingebauten Spannungsmesser die Batteriespannungen U_1 und U_2 nachgeprüft werden. In die mit E, B und C bezeichneten Buchsen wird der auf einem Kunststoff-Plättchen montierte Experimentier-Transistor eingesteckt. Damit ist der Transistor entsprechend dem Symbol auf der Frontplatte an das Gerät angeschlossen. Wenn kein Verbindungsstecker in der Schaltung auf der Frontplatte gesteckt ist, sind sämtliche Anschlüsse des Transistors noch frei.

Wir schalten nun an das Klemmenpaar e, also in die Kollektorzuleitung, einen Strommesser mit dem Meßbereich von 0...1 mA und stecken in das Buchsenpaar f einen Verbindungsstecker ein. Wird die Trennstelle i ebenfalls durch einen Stecker überbrückt, so liegt an dem Kollektor-Emitterkreis die Spannung U_2 an. Da-

bei stellen wir fest, daß in diesem Kreis bereits ein Strom fließt, obwohl wir die Basis des Transistors noch nicht an Spannung gelegt haben. Dies ist der Kollektorstrom I'_{C_0}, der fließt, wenn $I_B = 0$ ist.

Nun bringen wir die Basis des Transistors auf Potentialgleichheit mit dem Emitter, indem wir die unterbrochenen Leitungswege bei b, c und d 2 des Grundgerätes nach **Tabelle 2** mit Verbindungssteckern überbrücken. Dabei geht der Kollektorstrom auf den Wert I_{CK} zurück, dies ist der Kollektorstrom bei kurzgeschlossenem Eingang. Wie man an dem eingebauten Basisstrommesser erkennt, fließt ein Basisstrom in entgegengesetzter Richtung. Wird über den Verbindungsstecker in h, also parallel zur Taste links in Bild 3, das Potentiometer R 4 über die Vor-

Tabelle 2. Steckerschema zu Bild 11

Grund-	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1
gerät		–	–		–	10 mA	–		T	–	AC 151

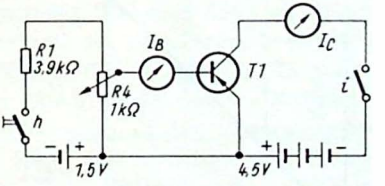


Bild 11. Schaltbild zum Aufnehmen der Kennlinie des Kollektorstromes in Abhängigkeit von der Basisspannung

widerstände R 1 und R_T an die Spannung U_1 gelegt, so erhält man die eigentliche Experimentierschaltung **Bild 11**. Damit kann dann die Basisspannung des Transistors gemäß der Eichkurve (Bild 6) zwischen 0 und 300 mV variiert werden. Erhöht man die Eingangsspannung, bis wieder der Strom I'_{C_0} erreicht ist, so ergibt sich, daß bei dieser Basisspannung ($\approx$ 80 mV) der Stecker in den Buchsen d 2 ohne Wirkung auf den Kollektorstrom gezogen werden kann. Somit ist im Basisstromkreis der Strom $I_B = 0$ geworden. Dieser Effekt ist auch an der Transistor-Kennlinie in Bild 17 gut zu erkennen.

Nach diesen einfachen Handhabungen ist nun das Grundgerät vorbereitet, um damit die verschiedenen Transistor-Kennlinienfelder aufnehmen zu können.

4.2 Der Stromverstärkungsfaktor

In **Bild 12** ist der Zusammenhang zwischen dem eingestellten Basisstrom I_B und dem daraus resultierenden Kollektorstrom I_C aufgetragen. Man erkennt aus diesem Diagramm, daß das Verhältnis zwischen Kollektorstrom und Basisstrom nahezu konstant ist, wenn man von sehr kleinen Werten des Kollektorstromes absieht. Dieses Verhältnis zwischen Kollektorstrom und Basisstrom wird als *Stromverstärkungsfaktor* β des Transistors bezeichnet.

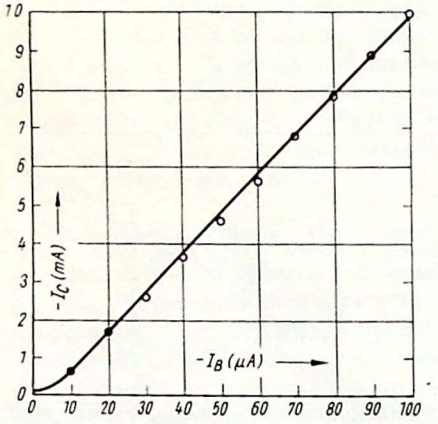


Bild 12. Zusammenhang zwischen Kollektorstrom und Basisstrom eines Transistors

4.3 Temperaturdurchgriff

Ist mit dem Potentiometer R 4 ein bestimmter Kollektorstrom I_C eingestellt, so kann man mit dieser Schaltung sehr leicht wahrnehmen, daß der Kollektorstrom zunimmt, sobald man den Transistor von außen mit der Hand erwärmt. Durch Verringern der Basisspannung ist es jedoch nach der Erwärmung des Transistors möglich, wieder denselben Kollektorstrom wie vor der Erwär-

mung einzustellen. Die Basisspannungsänderung, die erforderlich ist, um den Kollektorstrom I_C trotz Temperaturerhöhung konstant zu halten, wird mit *Temperaturdurchgriff* D_T bezeichnet. Dieser Wert kann nach folgender Gleichung experimentell ermittelt werden:

$$D_T = \frac{(U_{B_1} - U_{B_2})}{(T_1 - T_2)} \quad (1)$$

D_T = Temperaturdurchgriff,
U_{B_1} = Basisspannung bei Temperatur T_1 des Transistors,
U_{B_2} = Basisspannung bei der Temperatur T_2 des Transistors,
I_C = wird konstant gehalten.

Der Temperaturdurchgriff liegt bei Germanium-Transistoren in der Regel bei 2 mV/°C. Bei Transistorschaltungen ist aber auch damit zu rechnen, daß der Transistor, wenn er in der Nähe seiner Leistungsgrenze betrieben wird, eine gewisse Eigenerwärmung hat, die ihrerseits wieder den Kollektorstrom ansteigen läßt. Die Eigenerwärmung des Transistors kann in dieser Schaltung gut sichtbar gemacht werden, wenn man einen Kollektorstrom von rund 8 mA einstellt. Wie man dann am Zeiger des Strommessers im Kollektorkreis des Transistors beobachten kann, nimmt der Kollektorstrom weiter zu, obwohl die Basisspannung nicht verändert wird. Der Stromanstieg des Kollektorstromes infolge seiner Eigenerwärmung an den Grenzschichten wird erst dann beendet sein, wenn sich zwischen dem Transistorkristall und der Außentemperatur ein thermisches Gleichgewicht eingestellt hat. Daher ist von großer Bedeutung, daß in Transistorschaltungen die einzelnen Transistoren eine genügend große Wärmeableitung haben (Kühlschellen).

4.4 Aufnahme des Kollektorstromes als Funktion der Kollektorspannung

In **Bild 13** ist die Schaltung dargestellt, die zur Aufnahme der Kennlinie des Kollektorstromes I_C als Funktion der Kollektorspannung bei konstanter Basisspannung U_{BE} dient. Das Stecker-

Tabelle 3. Steckerschema zu Bild 13

Grund-	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1
gerät		–	–		–	10 mA	–	–	T	–	AC 151

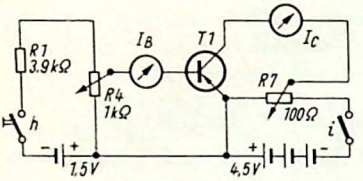


Bild 13. Schaltbild zum Aufnehmen der Kennlinie des Kollektorstromes in Abhängigkeit von der Kollektorspannung

schema **(Tabelle 3)** unterscheidet sich von dem Steckerschema zu Bild 11 nur durch einen zusätzlichen Verbindungsstecker in den Buchsen g. Durch diese Verbindung wird das Potentiometer R 7 zum Spannungsteiler, mit dem man die Kollektorspannung U_{CE} kontinuierlich von 0 bis 4,5 V variieren kann.

Wie bereits erwähnt, besteht beim Aufnehmen von Kennlinien die Gefahr, daß die Ergebnisse durch die Eigenerwärmung der Transistorkristalle verfälscht werden. Deshalb wird diese Kennlinie punktweise über einen Tastenschalter, der parallel zu der Trennstelle h geschaltet ist, aufgenommen. Damit wird die jeweils eingestellte Basisspannung dem Transistor nur kurzzeitig zum Ablesen des Kollektorstromes zugeführt. Wird nun der Zusammenhang des Kollektorstromes I_C in Abhängigkeit von der Kollektorspannung U_{CE} bei verschiedenen Werten der eingestellten Basisspannung aufgenommen, so ergibt sich das in **Bild 14** dargestellte Kennlinienfeld. Man erkennt daraus, daß der sogenannte differentielle Widerstand ΔR des Transistors bis zur Knickspannung relativ groß ist.

$$\Delta R = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C} \qquad (2)$$

Außerdem wächst der differentielle Widerstand noch mit kleiner werdender Basisspannung. Auf Grund dieser Tatsache ist eine Transistorschaltung im allgemeinen gegen Kollektorspannungs-

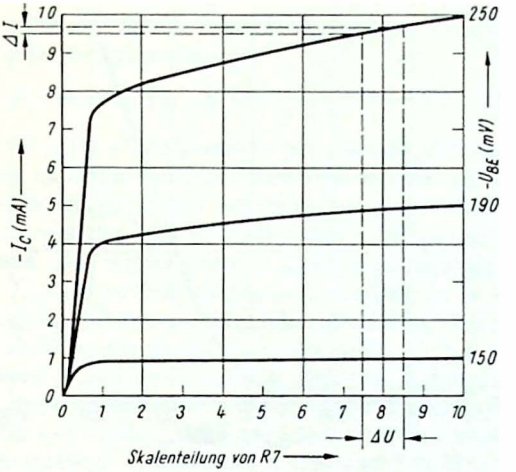


Bild 14. Das I_C/U_{CE}-Kennlinienfeld stellt den Kollektorstrom in Abhängigkeit von der Kollektorspannung bei verschiedenen Werten der Basisspannung dar

schwankungen nicht sehr empfindlich, da sich diese nur unwesentlich auf die Kollektorströme der einzelnen Transistoren auswirken.

4.5 Aufnahme des Kollektorstromes als Funktion der Basisspannung

Zur Aufnahme dieser Kennlinie werden nochmals die Schaltung und das Steckerschema Bild 11 verwendet. Die Kennlinie des Kollektorstromes I_C als Funktion der Basisspannung U_{BE} bei konstanter Kollektorspannung U_{CE} wird als *Steuerkennlinie* bezeichnet. Wie man aus der aufgenommenen Kennlinie **Bild 15** ersieht, besteht vor allem bei kleinen Werten von U_{BE} kein linearer Zusammenhang zwischen Kollektorstrom und Basisspannung. Da sich die Kollektorspannung U_{CE}, wie erwähnt, nur unwesentlich auf den Kollektorstrom I_C auswirkt, ist das Kennlinienfeld mit U_{CE} als Parameter sehr dicht zusammengedrängt. Deshalb wurde hier auf die Aufnahme des ganzen Kennlinienfeldes verzichtet. Aus dieser bei einer konstanten Spannung U_{CE} aufgenommenen Kennlinie $I_C = f(U_{BE})$ erkennt man außerdem, daß ein Transistor auch als veränderlicher Widerstand angesehen werden kann, da sich der Strom I_C über die Basisspannung

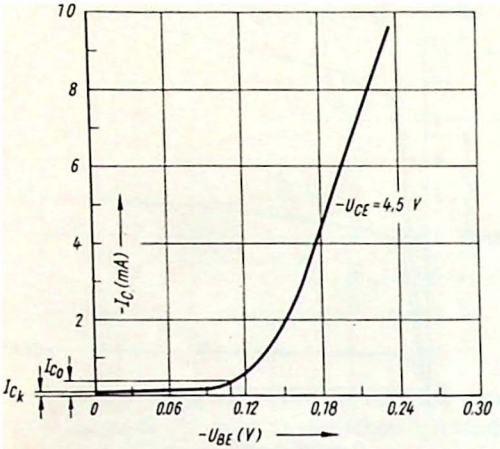


Bild 15. Die Steuerkennlinie eines Transistors. Liegt am Eingang des Transistors keine Basisspannung an, dann fließt ein Kollektorstrom von der Größe I_{Ck}

U_{BE} variieren läßt, obwohl die angelegte Spannung U_{CE} nicht verändert wird.

Die Kennlinie des Emitterstromes I_E als Funktion der Basisspannung U_{BE} würde nahezu denselben Verlauf haben wie die aufgenommene Kennlinie I_C als Funktion von U_{BE} (Bild 15), da für die durch den Transistor fließenden Ströme der Zusammenhang

$$I_B - (I_E - I_C) = 0 \qquad (3)$$

besteht. Wenn nun I_B sehr klein gegenüber I_C und I_E ist, kann I_B in der Gleichung (3) vernachlässigt werden. Diese Tatsache

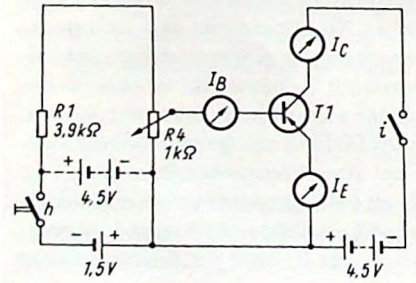


Bild 16. Schaltung zum Messen der durch den Transistor bei positiver Basisspannung fließenden Ströme. Die gestrichelt eingezeichnete Batterie wird von außen an das Grundgerät angeschlossen

hat für alle Transistoren Gültigkeit. Hieraus ergibt sich für alle Transistoren ein Stromverstärkungsfaktor

$$\alpha = I_C/I_E \approx 1 \qquad (4)$$

Dieser Wert für α ändert sich allerdings bei kleinen Werten von I_C und I_E. Diese Tatsache kann mit dem Grundgerät leicht nachgeprüft werden, indem bei einem beliebig eingestellten Kollektorstrom I_C die Trennstelle f durch Ziehen des Verbindungssteckers geöffnet wird. Der Kollektorstrom geht dann zwangsläufig auf den Wert $I_C = I_B$ zurück, da der Emitterstrom $I_E = 0$ geworden ist. In diesem Fall hätten wir dann allerdings einen Stromverstärkungsfaktor α, der gegen unendlich geht.

Man kann den Wert $I_E = 0$ auch dadurch erhalten, daß man eine außenliegende Spannungsquelle in umgekehrter Polung als Basisspannungsquelle verwendet. (**Bild 16**, Steckerschema nach **Tabelle 4**.) Das Potentiometer R 4 gibt dann eine positive Spannung gegenüber dem Emitter an die Basis ab. Man kann nun in die Buchsen bei d 1, f und e je ein empfindliches Amperemeter mit einem Meßbereich von 0....25 µA einschalten und beobachten, daß mit größer werdender positiver Basisspannung der Emitterstrom I_E immer kleiner wird. Dagegen nähert sich der Wert von I_C mehr und mehr dem Wert von I_B, bis schließlich bei $I_E = 0$ der Basisstrom gleich dem Kollektorstrom ($I_B = I_C$) wird.

Tabelle 4

Grund-	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1
gerät		–	–	25 µA		25 µA				–	AC 151

Der Wert der positiven Basisspannung U_{BE}, bei der $I_E = 0$ wird, hängt von der Temperatur des Transistors ab. Auch dieser Temperatureffekt kann mit diesem Experimentiergerät nachgewiesen werden, wenn die zu $I_E = 0$ gehörende positive Basisspannung vor und nach der Erwärmung des Transistors ermittelt wird.

4.6 Eingangskennlinien als Funktion der Basisspannung

Zur Aufnahme dieser Kennlinie wird ebenfalls die Schaltung Bild 11 und das Steckerschema nach Tabelle 2 verwendet. Bei

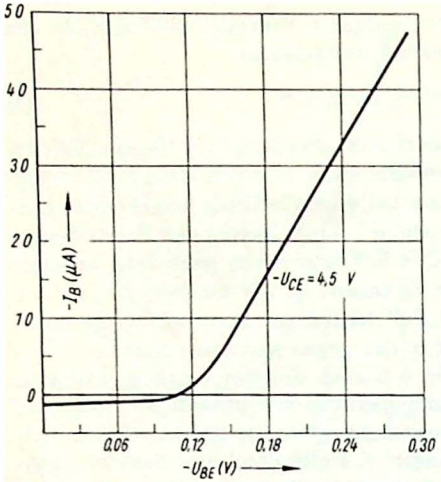


Bild 17. Die Eingangskennlinie eines Transistors. Bei dieser Kennlinie stellt man fest, daß der Basisstrom bei einer Basisspannung von ca. 80 mV seine Richtung umkehrt

der Aufnahme dieser Kennlinie stellt man fest, daß zunächst ein Basisstrom in umgekehrter Richtung fließt. Bei einer Basisspannung von ungefähr 80 mV geht der Basisstrom I_B auf den Wert 0 zurück und nimmt dann mit weiter zunehmender Basisspannung U_{BE} in der richtigen Stromrichtung zu. Es findet also, wie man aus der Kennlinie **Bild 17** ersieht, eine Richtungsänderung des Basisstromes statt. Beim Vergleich der beiden Kennlinien in Bild 15 und 17 stellen wir fest, daß diese Kennlinien in ihrem Verlauf einander sehr ähnlich sind. Diese Tatsache ist darauf zurückzuführen, daß das Verhältnis $I_C/I_B = \beta$ bei Transistoren im allgemeinen nahezu konstant ist.

Die Basisspannung U_{BE}, bei der $I_B = 0$ wird, ist wiederum von der Temperatur des Transistors abhängig. Diese Temperaturabhängigkeit kann in dieser Schaltung nachgewiesen werden, wenn man den Transistor von außen durch Anfassen mit der Hand erwärmt.

4.7 Stromgegenkopplung

In **Bild 18** ist die Schaltung gezeigt, mit deren Hilfe man den Gegenkopplungseffekt gut darstellen kann. Die Schaltung ergibt sich aus dem Grundgerät durch Stecken nach **Tabelle 5**. Zunächst

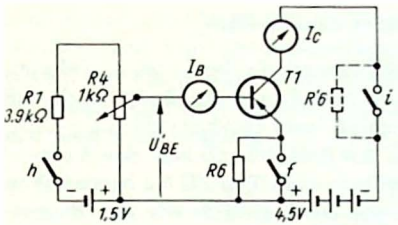


Bild 18. Schaltung zum Darstellen des Stromgegenkopplungseffektes

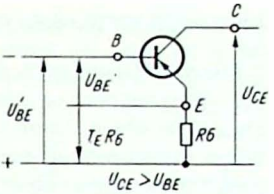


Bild 19. Die effektive Basisspannung U_{BE} setzt sich bei der Stromgegenkopplung aus der Differenz der Basis-Emitter-Spannung U'_{BE} und dem Produkt aus $I_E \cdot$ R 6 zusammen

Tabelle 5. Steckerschema zu Bild 18

Grund-	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1
gerät		–	–		–	10 mA	R 6		–	–	AC 151

stellt man mit dem Potentiometer R 4 einen Strom von etwa 5 mA ein. Dann stecke man anstelle des Verbindungsbügels in die Buchsen i einen Widerstand R 6 von 500 Ω ein. Dabei geht der Kollektorstrom nur geringfügig zurück. Wird jedoch derselbe Widerstand in die Emitterzuleitung des Transistors eingeschaltet, so geht der Kollektorstrom stark zurück.

Dieser Effekt beruht auf einer Stromgegenkopplung. Der Emitterstrom I_E, der durch den Widerstand R 6 fließt, erzeugt einen Spannungsabfall von $\Delta U = I_E \cdot R\,6$. Um diesen Spannungsabfall wird die angelegte Basisspannung U'_{BE} verringert (**Bild 19**). Die effektiv anliegende Basisspannung ist somit

$$U_{BE} = U'_{BE} - I_E \cdot R\,6$$

Selbst wenn man mit Hilfe des Potentiometers R 4 eine erhöhte Spannung s. o. an die Basis des Transistors anlegt, nimmt der Strom nur unwesentlich zu, da mit zunehmendem Emitterstrom I_E auch der entgegenwirkende Spannungsabfall im Basiskreis zunimmt. Wie man hieraus ersieht, eignet sich dieser Gegenkopplungseffekt dazu, um unerwünschte Kollektorstrom-Änderungen infolge von Temperatureinflüssen zu kompensieren.

4.8 Aufnahme der Kennlinie einer Zenerdiode

Mit dem Grundgerät ist man nicht nur in der Lage, Kennlinien von Transistoren aufzunehmen, sondern man kann auch die Kennlinie einer Diode in Durchlaß- und in Sperrichtung punktweise experimentell ermitteln. Als Beispiel soll hier das Aufnehmen der Kennlinie einer Zenerdiode vom Typ ZD 8,2 beschrieben werden (**Bild 20**). Die Zenerdiode wird, ähnlich wie der Experi-

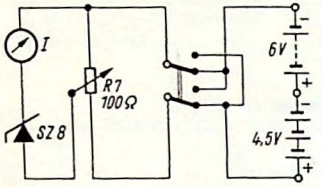


Bild 20. Schaltung zum Aufnehmen der Kennlinie einer Zenerdiode im Durchlaß- und Sperrbereich

Tabelle 6. Steckerschema zu Bild 20

Grund-gerät	a	b	c	d1	d2	e	f	g	h	i	Diode
						10 mA	–	–		6 V	ZD 8,2

mentiertransistor, auf ein Resopal-Steckerplättchen gelötet, so daß ihre Anschlüsse beim Einstecken des Plättchens mit den Buchsen E und C verbunden sind. Die Batteriespannung wird durch eine zusätzliche 6-V-Batterie auf 10,5 V erhöht. Das Steckerschema zeigt die **Tabelle 6.** Durch Stecken des Verbindungssteckers in g wird das Potentiometer R 7 zum Spannungsteiler, und man kann an die Zenerdiode eine Spannung von 0 bis 10,5 V anlegen.

Im Durchlaßbereich hat die Zenerdiode den normalen Kennlinienverlauf einer Diode (**Bild 21**). Zum Durchmessen des Sperrbereiches wird die Diode umgepolt, indem das Steckerplättchen mit der aufgelöteten Diode umgedreht in die Buchsen E und C eingesteckt wird. Im Sperrbereich der Zenerdiode erkennt man, daß die Zenerdiode bis zum Erreichen der Zenerspannung nahezu vollständig stromundurchlässig ist. Nach dem Erreichen der

Zenerspannung nimmt der Strom jetzt auch in Sperrichtung, in Abhängigkeit von der Spannung, sehr stark zu. Dies ist aber gerade das Charakteristische an einer Zenerdiode und macht sie zu einem wichtigen Bauelement, wenn es gilt, Gleichspannungen konstant zu halten.

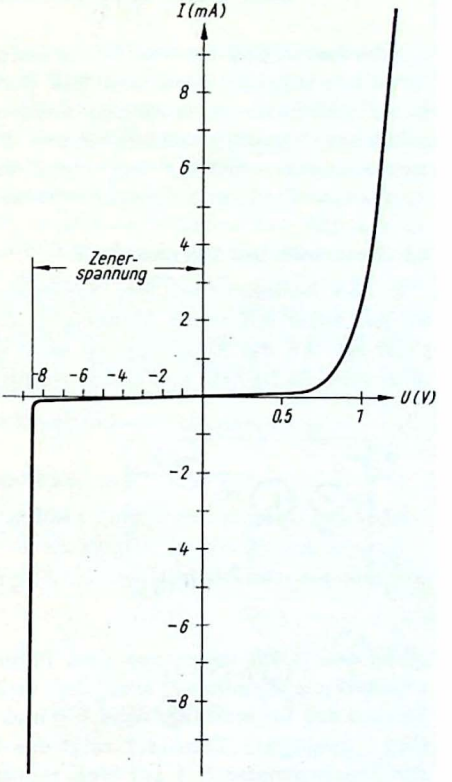


Bild 21. Kennlinie einer Zenerdiode, mit dem Grundgerät nach der Schaltung Bild 20 aufgenommen

5 Schaltungsaufbau mit dem Experimentiergerät

Nachdem in den bis jetzt beschriebenen Versuchen ausschließlich Grundeigenschaften und das Aufnehmen von Halbleiter-Kennlinien besprochen wurden, werden nun einige elektronische Schaltungen gezeigt und besprochen. Bei diesen Versuchen wird man erkennen, daß sie sich mehr oder weniger abgewandelt durchaus in der Praxis verwenden lassen.

5.1 Elektronisches Thermometer

In den Kollektorkreis des Experimentiertransistors wird ein Strommesser mit einem Meßbereich von 0...10 mA eingeschaltet (**Bild 22**). An die Spannung U_2 wird ein Spannungsteiler angeschlossen. Er besteht aus einem Heißleiter mit einem Kaltwider-

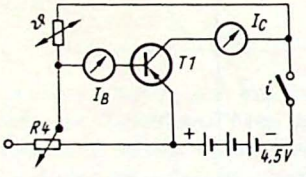


Bild 22. Schaltung eines elektronischen Thermometers

stand von 4 kΩ sowie aus dem Potentiometer R 4. Die daran abgegriffene Spannung wird der Basis des Transistors durch Stecken der Verbindungsbügel b, c und d 2 in der Grundschaltung Bild 3 zugeführt. **Tabelle 7** zeigt das Steckerschema. Wird nun das Potentiometer R 4 auf Null zurückgedreht, dann liegt zwischen Basis und Emitter keine Spannung. Somit fließt zunächst im Kollektorkreis, wie schon früher gezeigt wurde, nur ein Strom von der Größe I_{Ck}. Verändert man die Stellung des Schleifers von R 4, dann erhält man auf Grund des veränderten Spannungsteiler-Verhältnisses eine Basisspannung, die im Kollektorkreis einen entsprechenden Kollektorstrom I_C hervorruft.

Tabelle 7. Steckerschema zu Bild 22

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1
		–	–		–	10 mA	–			–	AC 151

Wird nun der Heißleiter durch Anfassen mit der Hand erwärmt, so verkleinert sich dessen Widerstandswert. Dadurch steigt die Basisspannung weiter an. Die Schaltung ist so empfindlich, daß man bereits beim Berühren des Heißleiters einen Stromanstieg im Kollektorkreis von 2 mA bis 10 mA erzielen kann. Dieser Zeigerausschlag des Strommessers könnte nun in Grad Celsius geeicht werden, da in dieser Schaltung zwischen der Temperatur am Heißleiter und dem Kollektorstrom I_C ein unmittelbarer Zusammenhang besteht. Der Heißleiter dient hier als Temperaturfühler. Dabei kann mit Hilfe des Einstellwiderstandes R 4 in weiten Grenzen der Temperaturmeßbereich eingestellt werden. Wie bei allen Transistorschaltungen, die für meßtechnische Zwecke verwendet werden, ist auch hier zu beachten, daß der Temperaturgang des Transistors die Ergebnisse verfälschen kann.

5.2 Einfacher Fotostromverstärker

In **Bild 23** ist die Schaltung eines Fotostromverstärkers wiedergegeben. Beim Anlegen der Spannung U_2 an den Kollektorstromkreis durch Stecken des Verbindungsbügels in die Klemmen i

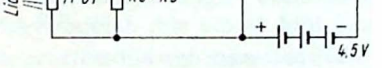


Bild 23. Schaltung eines einstufigen Fotostromverstärkers

(Grundschaltung Bild 3 und Steckerschema **Tabelle 8**) fließt zunächst, da die Basis noch spannungslos ist, wieder der Strom I_{Ck}. Sobald nun die Fotodiode von einem Lichtstrahl getroffen wird, fließt im Basiskreis ein von der Beleuchtungsstärke der Fotodiode abhängiger Basisstrom. Dieser Strom wird nun wieder entsprechend dem Stromverstärkungsfaktor des Transistors

Tabelle 8. Steckerschema zu Bild 23

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1
					–	10 mA	–			–	AC 151
		↑									
		TP 61									

verstärkt und durch den Strommesser angezeigt. Dabei ist darauf zu achten, daß die Fotodiode richtig gepolt zwischen Basis und Emitter angeschlossen wird. Wird sie nämlich so angeschlossen, daß beim Belichten die Basis des Transistors positiv gegenüber dem Emitter wird, so bleibt der Transistor auch nach dem Belichten der Fotodiode gesperrt.

5.3 Das Transistorrelais

Man kann beim Grundgerät ein empfindliches Kammrelais in Reihe zum Strommesser in den Kollektorkreis des Transistors einschalten. Das Kammrelais ist auf eine der für das Experimentiergerät vorgesehenen Steckerplatten montiert, wobei die Relaisspule an die Stecker angeschlossen ist. Bild 2 zeigt eine solche Relaisplatte. Die beiden Umschaltkontakte des Relais sind symbolgemäß mit den auf der Platte befindlichen Buchsen verbunden. Da die Anzugsspannung des Relais 6 V beträgt, reicht die Spannung U_2 der eingebauten 4,5-V-Batterie nicht aus. Diese Betriebsspannung wird deshalb bei diesem Versuch durch Einschalten einer 6-V-Batterie zwischen die Klemmen i der Grundschaltung auf 10,5 V erhöht. Am Eingang des Transistors wurde wieder ein Spannungsteiler, bestehend aus dem Widerstand R 2 und dem Potentiometer R 4, angeschlossen.

Tabelle 9 zeigt das Steckerschema für die Grundschaltung, Bild 3 und **Bild 24** die sich daraus ergebende Experimentierschaltung.

Erhöht man durch Betätigen des Drehwiderstandes R 4 die Basisspannung, dann zieht bei einem Kollektorstrom von etwa 10 mA das Relais an. Verwendet man beispielsweise einen Transistor mit dem Stromverstärkungsfaktor $\beta = 100$, dann wird dieses Relais bei einem Eingangsstrom (Basisstrom) von $I_B = 100\ \mu A$ bereits sicher anziehen. Die Schaltung kann somit als empfindliches Transistorrelais angesprochen werden.

Tabelle 9. Steckerschema zu Bild 24

Grund-	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1
gerät	–	–	–		–	10 mA	–			6 V	AC 151
						↑					
						mit Trls 154 c					

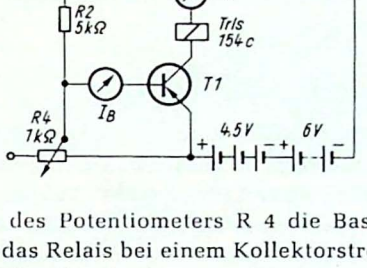


Bild 24. Schaltung eines Transistorrelais

Verringert man mit Hilfe des Potentiometers R 4 die Basisspannung wieder, dann fällt das Relais bei einem Kollektorstrom von 5 mA und einem entsprechenden Basisstrom von 50 µA wieder ab. Damit kann diese Anordnung zumindest modellmäßig zur Signalisierung bestimmter Grenzwerte benutzt werden.

5.4 Modell eines elektronischen Thermometers mit Grenzwertsignalisierung

Als Anwendungsbeispiel für das Transistorrelais wird das vorher beschriebene Relais mit dem elektronischen Thermometer kombiniert. In dieser Schaltung kommt zu der Temperaturanzeige durch den Strommesser im Kollektorkreis noch die Grenzwert-Signalisierung durch das ebenfalls im Kollektorkreis befindliche Kammrelais hinzu. Man ersetzt dazu den Widerstand R 2 in Bild 24 durch den Heißleiter aus Bild 22.

Mit dem Potentiometer R 4 wird zunächst ein Kollektorstrom von 4 mA eingestellt. Durch Erwärmen des Heißleiters mit der Hand steigt dieser Strom schnell auf 10 mA an. Der Anker des Relais zieht an, und man könnte das Überschreiten eines Maximalwertes der Temperatur mit Hilfe eines der Relaiskontakte und einer Anzeigelampe signalisieren. Beim Abkühlen des Heißleiters fällt das Relais wieder ab, sobald der Kollektorstrom den

Wert von 5 mA unterschreitet. Die Temperaturwerte, bei denen dieses Relais anzieht bzw. abfällt, lassen sich mit dem Potentiometer R 4 für einen großen Temperaturbereich einstellen. Die Basisspannung ist in dieser Schaltung einerseits von dem temperaturabhängigen Widerstandswert des Heißleiters, andererseits aber von dem eingestellten Widerstandswert des Potentiometers R 4 abhängig. Auf Grund dieser Eigenschaft ist die Schaltanordnung auch zum Aufbau eines einfachen Regelmodelles geeignet.

5.5 Modell einer Lichtschranke

Wird an den Eingang des Transistorrelais eine Fotodiode angeschlossen, so erhält man auf diese Weise ein gut arbeitendes Modell einer Lichtschranke. **Tabelle 10** zeigt das Steckerschema für die Grundschaltung und **Bild 25** die sich daraus ergebende Experimentierschaltung. In **Bild 26** ist der mechanische Aufbau dargestellt.

Tabelle 10. Steckerschema zu Bild 25

Grund-	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1
gerät					–	Trls 154 c	–			6 V	AC 151

TP 61

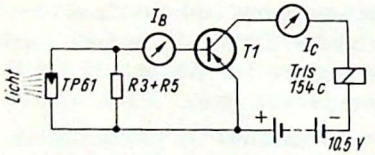


Bild 25.
Schaltung einer Lichtschranke

Beim Beleuchten der Fotodiode entsteht ein Basisstrom I_B. Er bewirkt im Kollektorkreis den Strom I_C von mehr als 10 mA. Das in den Kollektorkreis eingeschaltete Kammrelais zieht an, und man kann auch hier über die Relaiskontakte ein Signal oder einen Zählimpuls geben.

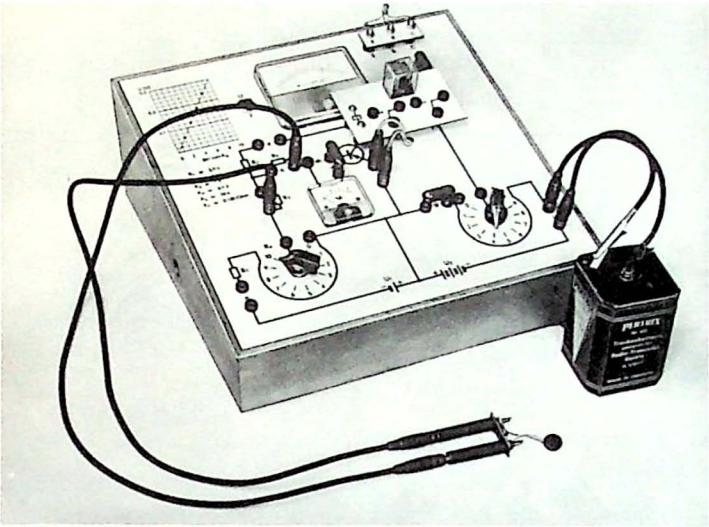


Bild 26. Mit dem Grundgerät aufgebautes Modell einer Lichtschranke

Sobald der Lichtstrahl unterbrochen wird, fließt im Kollektorkreis nur noch der Strom I_{Ck}. Dieser kleine Strom I_{Ck} hält den Anker des Relais nicht mehr, d. h. der vorher geschlossene Signalkontakt öffnet wieder. In diesem Modell einer Lichtschranke fließen demnach im Kollektorkreis entweder, wenn die Fotodiode belichtet ist, ein Strom I_C von mehr als 10 mA, oder aber, wenn die Fotodiode im unbelichteten Fall keine Basisspannung abgibt, der Strom I_{Ck}. Zwischenwerte für den Kollektorstrom I_C, wie beim elektronischen Thermometer, treten hier nicht auf. – Über einen Relaiskontakt des Kammrelais könnte ein Zählwerk betätigt werden, so daß man mit dieser Schaltung in der Lage ist, Stückgüter auf Fließbändern zu zählen.

5.6 Modell eines Dämmerungsschalters

In der Schaltung in Bild 24 kann der Widerstand R 2 durch einen Fotowiderstand vom Typ LDR 03 ersetzt werden. Dabei

Tabelle 11. Steckerschema zu Bild 27

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1
		—	—		—	Trls 154 c	—			6 Volt	AC 151

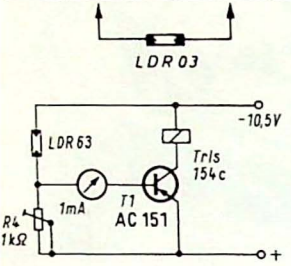


Bild 27. Empfindlicher Lichtschalter

wird bei dieser Schaltung genau, wie beim elektronischen Thermometer, die Ansprechempfindlichkeit durch den Widerstand R 4 eingestellt (**Bild 27** und **Tabelle 11**).

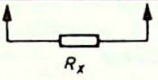
Man wird feststellen können, daß die Lichtempfindlichkeit dieser Schaltung wesentlich größer ist als diejenige von Bild 25. Diese lichtempfindliche Schaltung mit dem Fotowiderstand LDR 03 ist daher auch als Dämmerungsschalter einsetzbar. Das Relais zieht hier bei Lichteinfall an.

5.7 Widerstandsmeßgerät zum Bestimmen von hochohmigen Widerständen

Mit der Steckverbindung nach **Tabelle 12** im Grundgerät erhält man die Schaltung von **Bild 28**. Dabei wird ein Spannungsteiler gebildet zwischen dem unbekannten Widerstand R X und den festen Widerständen R 3 und R 4. Solange kein Widerstand R X an die Klemmen angeschlossen ist, liegt an der Basisspannung dasselbe Potential wie am Emitter, so daß im Kollektorkreis lediglich der Strom I_{CK} fließt. Sobald jedoch der unbekannte Widerstand R X angeschlossen wird, entsteht auf Grund des Spannungsteilerverhältnisses von R X zu R 3 und R 4 eine Basisspannung. Sie läßt im Kollektorkreis einen Strom

Tabelle 12. Steckerschema zu Bild 28

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1 AC 151
			—	—		1 mA	—			—	



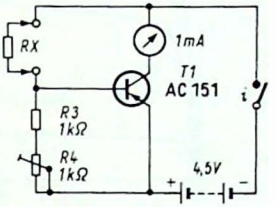


Bild 28. Schaltung eines einfachen Transistor-Ohmmeters

fließen, der um so größer wird, je kleiner der Wert von R X ist. Der Widerstand R X sollte jedoch nicht den 5fachen Wert von R 3 + R 4 unterschreiten, da sonst durch den Transistor T 1 ein zu großer Kollektorstrom I_C fließen würde. Eicht man den Strommesser in Ohm, dann können hiermit auch hochohmige Widerstände mit guter Genauigkeit gemessen werden. Die Voraussetzung für eine genaue Messung ist jedoch, daß die Temperatur des Transistors sowie die Spannung der Kollektorbatterie konstant gehalten werden, da sich Spannungsänderungen über den Spannungsteiler R X / R 3 und R 4 auf die Basisspannung und damit auf die Anzeige auswirken.

5.8 Der Transistor als Schalter

In vielen Fällen wird der Transistor wie bei dem vorher besprochenen Modell einer Lichtschranke als sogenannter Schalttransistor verwendet. Beim Schalttransistor gibt es, wie beim Relais, nur die beiden Schaltzustände *stromführend* oder *nicht stromführend*. Dabei ist in beiden Fällen zunächst gar nicht entscheidend, wie groß die tatsächlichen Stromwerte für I_C sind. In **Bild 29a** ist im Kennlinienfeld $I_C = f(U_{CE})$ der Ein- und Ausschaltsprung des Schalttransistors entlang der Arbeitskennlinie für den Kollektorwiderstand R_C dargestellt. Aus diesem Diagramm er-

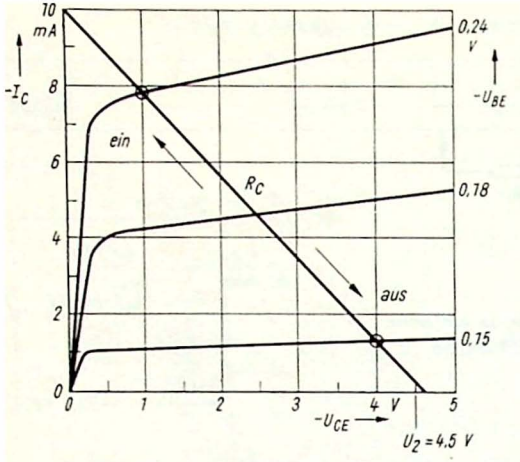


Bild 29a. Ein- und Aus-Schaltsprung des Schalttransistors im I_C/U_{CE}-Kennlinienfeld

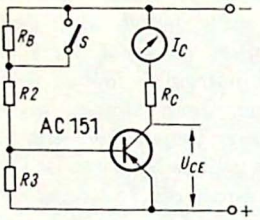


Bild 29b. Durch Betätigen des Schalters S kann der Transistor vom stromlosen in den leitenden Zustand gesteuert werden

sieht man, daß im stromführenden Zustand am Transistor nur eine kleine Spannung, im gesperrten Zustand dagegen nahezu die volle Batteriespannung liegt. Dies kann zur Anzeige des Schaltzustandes eines Transistors ausgenützt werden. Da man am Transistor, im Gegensatz zu einem Relais, den Schaltzustand nicht von außen erkennt, ist es gerade zum Experimentieren wichtig, einfache optische Signalanzeiger zur Verfügung zu haben.

5.8.1 Der Glühlampenanzeiger

Der Glühlampenanzeiger besteht aus einem Transistor mittlerer Leistung, in dessen Emitterkreis eine Glühlampe eingeschaltet ist. Wird nun an den Kollektor-Emitterkreis über die Signal-

lampe eine Spannung angelegt (**Bild 30**), so fließt in diesem Kreis nur dann ein Strom, wenn gleichzeitig an der mit der Basis des Transistors verbundenen Buchse A eine negative Spannung liegt. Nur dann leuchtet also die Glühlampe Z auf. Wird nun der Glühlampenanzeiger in der in Bild 30 gezeigten Weise an einen Transistor angeschlossen, so kann man dessen Schaltzustand erkennen,

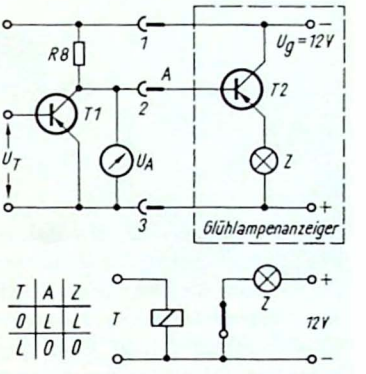


Bild 30. Anschluß des Glühlampenanzeigers an einen Schalttransistor in Kollektor-Basiskopplung. Das Signalschema dieser Transistorschaltung (unten im Bild) ist vergleichbar mit dem eines Relais mit einem Ruhekontakt

je nachdem ob die Signallampe Z aufleuchtet oder nicht. Liegt z. B. an dem zu untersuchenden Transistor T 1 am Punkt T kein Signal an, so fließt auch im Kollektorkreis dieses Transistors kein Kollektorstrom. Damit fällt am Widerstand R 8 keine Spannung ab, so daß nahezu die volle negative Signalspannung an die Buchse A des Glühlampenanzeigers gelangt. Die Glühlampe Z leuchtet auf, da in diesem Schaltzustand der Anzeigetransistor Strom führt. Genau der umgekehrte Fall tritt ein, wenn am Eingang des zu untersuchenden Transistors an T ein negatives Signal angelegt wird. Wenn man das Verhalten dieser Schaltkombination vom Signalzustand am Eingang T bis zur Anzeige der Signallampe Z betrachtet, verhält sich die gesamte Schaltung wie ein Relais mit Ruhekontakt.

5.8.2 *Emittergekoppelter Glühlampenanzeiger*

Der Glühlampenanzeiger kann auch, wie in **Bild 31** gezeigt, an den Emitter des zu untersuchenden Transistors angeschlossen

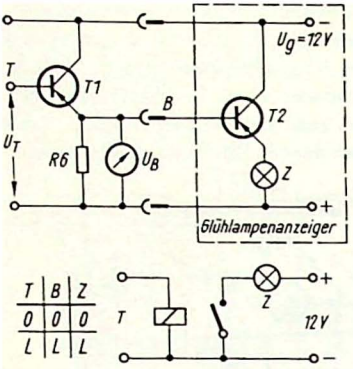


Bild 31. Anschluß des Glühlampenanzeigers in Emitter-Basiskopplung. Das Signalschema dieser Transistorschaltung (im Bild unten links) ist vergleichbar mit dem eines Relais mit einem Arbeitskontakt

werden. Damit liegt die Basiszuleitung des Anzeigetransistors am Emitter des Prüftransistors. Liegt nun am Eingang dieses Transistors an der Stelle T kein Signal, so fließt im Kollektorkreis dieses Transistors auch kein Strom, d. h. die Basis des Anzeigetransistors liegt über den Widerstand R 6 am positiven Potential. Damit ist der Anzeigetransistor gesperrt, und die Signallampe Z leuchtet nicht auf.

Im umgekehrten Fall, wenn an dem Eingang T des Prüftransistors ein negatives Signal vorhanden ist, dann erhält der Punkt B des Anzeigetransistors ebenfalls ein negatives Signal, da in diesem Fall am Widerstand R 6 durch den Emitterstrom I_E eine Spannung abfällt. Damit fließt aber im Kollektor-Emitterkreis des Anzeigetransistors ein Strom, der die Anzeigeglühlampe aufleuchten läßt. Beim Vergleich dieser Schaltung mit einem Relais wird man erkennen, daß dieses Verhalten dem eines Relais mit Arbeitskontakt entspricht.

5.9 Signalschema für den Glühlampenanzeiger

Das geschilderte Verhalten des Glühlampenanzeigers läßt sich in vereinfachter Form durch ein *Signalschema* darstellen. Darin bedeutet das Zeichen 0, daß an dem damit gekennzeichneten Punkt keine Spannung bzw. kein Signal anliegt, während das

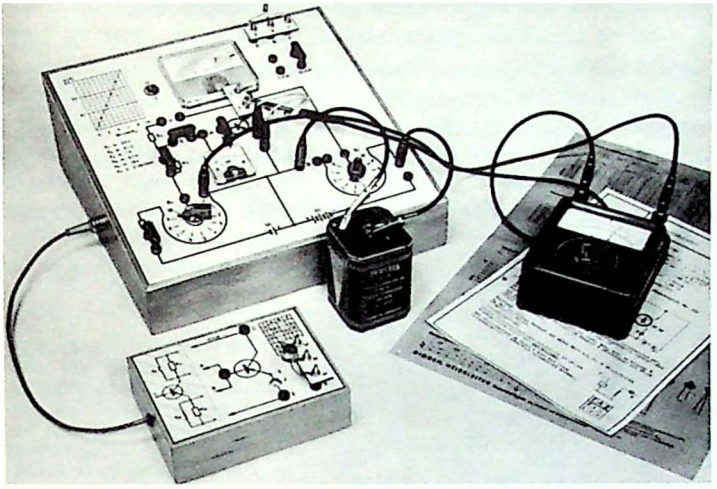


Bild 32. Der Glühlampenanzeiger wird über eine dreipolige Steckverbindung an das Grundgerät angeschlossen. Die hier aufgebaute Schaltung entspricht einem Relais mit Ruhekontakt

Zeichen L [1]) hier für das Vorhandensein eines negativen Signals verwendet wird. Dieses Signalschema ist in den Bildern 30 und 31 zusätzlich eingetragen. Es läßt sich in den Schaltungen mit Hilfe eines hochohmigen Spannungsmessers kontrollieren.

Der beschriebene Glühlampenanzeiger kann über eine dreipolige Steckverbindung an das Grundgerät angeschlossen werden (**Bild 32**). Dabei ist zu beachten, daß über die dreipolige Steckverbindung des Grundgerätes nur eine direkte Kollektor-Basiskopplung möglich ist (Bild 30). Deshalb muß in den Kollektorkreis des zu untersuchenden Transistors ein Arbeitswiderstand R 8 eingeschaltet werden. Diese Steckverbindung hat jedoch den Vorteil, daß der Glühlampenanzeiger schnell an eine bereits aufgebaute Schaltung angeschlossen werden kann.

---

[1]) Man kann sich dieses Zeichen L, das allgemein in der sogenannten Digitaltechnik benutzt wird, merken als L = Leitend.

5.10 Anzeige des Signalzustandes eines Transistors durch eine Signalglimmlampe

Eine andere recht elegante Möglichkeit, den Signalzustand eines Transistors anzuzeigen, ist durch eine speziell dafür entwickelte Signalglimmlampe gegeben. Bei ihr kann die Glimmstrecke bereits durch Anlegen einer Spannung von rund 4 V an

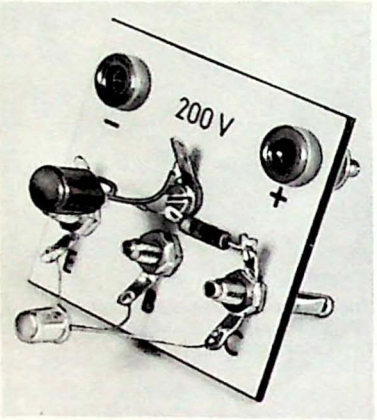


Bild 33. Wird der Transistor als Schalter betrieben, so zeigt die auf das Steckerplättchen neben dem Transistor mit aufgelötete Signalglimmlampe seinen jeweiligen Schaltzustand an. Die Schaltung ist in Bild 31 dargestellt

die Indikatorkatode gezündet werden. Wird diese Spannung wieder abgetrennt, dann erlischt das Glimmlicht sofort. Damit ist die Glimmlampe, zumal sie nicht viel größer als ein Transistor ist, sehr geeignet, die Schaltzustände von Transistoren zu signalisieren. Für das hier beschriebene Experimentiersystem wird die Signalglimmlampe zusammen mit dem Transistor auf eine

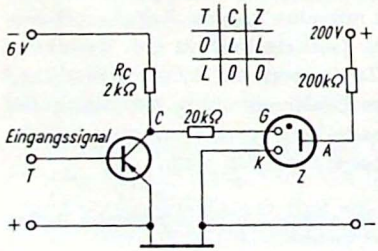


Bild 34. So wird die Signalglimmlampe auf dem Steckerplättchen an den Transistor angeschlossen: A = Anode, K = Haltekatode, G = Indikatorkatode

Steckerplatte nach **Bild 33** aufgelötet. Diese Schaltkombination wird an Stelle eines Experimentiertransistors in die Buchsen E, B und C des Grundgerätes eingesteckt. Mit dieser Kombination besteht also zusätzlich die Möglichkeit, den Signalzustand des Transistors unmittelbar anzuzeigen. Für die Signalglimmlampe ist eine zusätzliche Gleichspannung von 200 V erforderlich. Sie wird dem Steckerplättchen über die mit + und – gekennzeichneten Buchsen (**Bild 34**) zugeführt. Der durch die Glimmlampe angezeigte Schaltzustand wird auch hier, wie beim Glühlampenanzeiger, über ein Signalschema ausgewertet.

6 Stabilisierungsschaltungen

6.1 Stabilisierung durch eine Zenerdiode

Die spannungsstabilisierende Eigenschaft einer Zenerdiode kann leicht mit der in **Bild 35** gezeigten Schaltung und dem Steckerschema nach **Tabelle 13** nachgeprüft werden.

Tabelle 13. Steckerschema zu Bild 35

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	Diode
							—	—		6 Volt	ZD 3,9

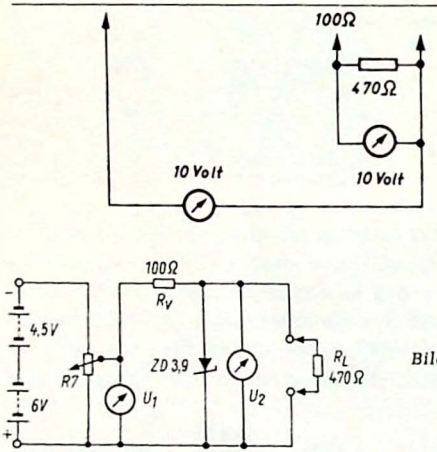


Bild 35. Spannungsstabilisierung mit einer Zenerdiode

Über R 7 kann in dieser Schaltung die Eingangsspannung U_1 von 0...10,5 Volt variiert werden. Man beobachtet hierbei, daß sich die Ausgangsspannung U_2 von etwa 3,7...4,1 Volt ändert, wenn sich die Eingangsspannung U_1 in einem Bereich von 5,5...10,5 Volt bewegt. Die Differenz zwischen U_1 und U_2 wird durch den Spannungsabfall an dem Widerstand R_V gebildet.

Es gilt hierfür

$$U_1 - U_2 = I \cdot R_v$$

Unterhalb einer Eingangsspannung von $U_1 = 5{,}5$ Volt stabilisiert diese Schaltung mit der Zenerdiode ZD 3,9 die Ausgangsspannung U_2 nicht mehr.

Auch Belastungsschwankungen werden mit dieser Schaltung ausgeregelt. Man kann dies erkennen, indem man parallel zur Zenerdiode einen Lastwiderstand R_L von 470 Ohm zu- bzw. abschaltet und dabei die Ausgangsspannung U_2 beobachtet.

Die hier beschriebene Schaltung arbeitet natürlich nur, wenn die Zenerdiode richtig gepolt angeschlossen ist. Bei falscher Polung arbeitet die Zenerdiode in ihrem Durchlaßbereich. Am Ausgang dieser Schaltung liegt dann eine nichtstabilisierte Spannung von ungefähr 0,8 Volt an (vgl. Bild 21).

6.2 Stabilisierungsschaltung mit höherer Leistung

Die im Abschnitt 6.1 beschriebene Zenerdiode ZD 3,9 kann nur bis zu Stromstärken von 50 mA zur Spannungsstabilisierung verwendet werden.

Soll mit dieser Zenerdiode aber eine wesentlich höhere Leistung spannungsmäßig stabilisiert werden, so kann dies mit der in **Bild 36** gezeigten Schaltung und nach dem Steckerschema der **Tabelle 14** erreicht werden.

Die Spannung U_{CE}, die zwischen den Punkten C und E des Transistors T 1 anliegt, ist hier nahezu unabhängig von dem durch den Transistor T 1 fließenden Stromes I_C und beträgt:

$$U_{CE} = U_{Zener} + U_{BE}$$

Da U_{BE} vernachlässigbar klein ist, wird

$$U_{CE} \sim U_{Zener}$$

Damit liegt an dem Transistor, unabhängig von der Last, immer nahezu die Zenerspannung an. Durch den Transistor T 1 kann aber ein um den Faktor $\beta = I_C/I_B$ größerer Strom als durch die Zenerdiode fließen.

Steht beispielsweise ein Transistor mit einem Stromverstärkungsfaktor $\beta = 100$ und ausreichender Leistung zur Verfügung,

Tabelle 14. Steckerschema zu Bild 36

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1	Diode
							—				BSY 51	ZD 3,1

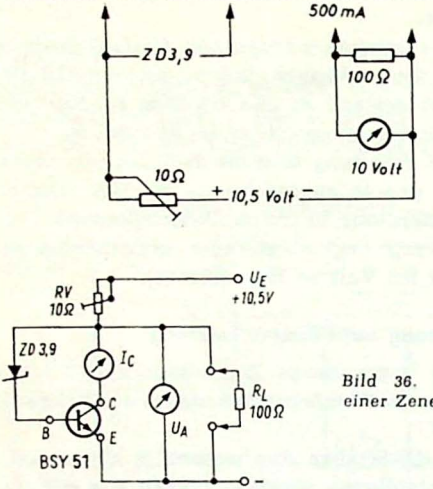


Bild 36. Stabilisierungsschaltung mit einer Zenerdiode und einem Transistor

so kann mit dieser Schaltung und der Zenerdiode ZD 3,9 die Ausgangsspannung bis zu einer Stromstärke von $I_C = 5$ A konstant gehalten werden.

Wird die Spannung U_E kleiner als die Zenerspannung, so sperrt der Transistor T 1 und es fließt nur noch ein Strom von der Größe I_{CK}.

Auf die richtige Polung der Zenerdiode ist zu achten.

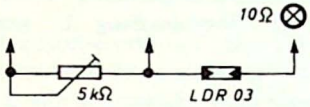
6.3 Spannungsstabilisierung auf optischem Wege

Mit der Schaltung in **Bild 37** soll gezeigt werden, daß eine Spannungsregelung auch ohne eine Zenerdiode möglich ist.

Die Bauelemente werden entsprechend dem Steckerschema **Tabelle 15** angeschlossen. Für R A verwendet man einen auf ein Steckerplättchen montierten 5 kΩ-Trimmer.

Tabelle 15. Steckerschema zu Bild 37

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1
								—		6 Volt	AC 151



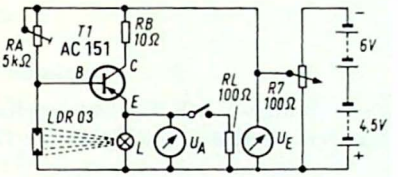


Bild 37. Spannungsstabilisierung auf optischem Wege

Den Fotowiderstand LDR 03 bringt man so nah als möglich an die 7-Volt-Glühbirne L heran. Mit dem Trimmerpotentiometer R A = 5 kΩ wird die Lampe L auf ihre normale Helligkeit eingestellt.

Man stellt fest, daß sich eine Spannungsänderung von U_E zwischen 7 und 10,5 Volt nur unwesentlich auf die Ausgangsspannung U_A auswirkt. Auch eine Laständerung am Ausgang wird spannungsmäßig einwandfrei ausgeregelt.

Bei einer Eingangsspannung U_E unter 7 Volt arbeitet die Regelschaltung mit dieser 7-Volt-Glühlampe nicht mehr befriedigend. Die Arbeitsweise dieser optischen Regelung ist leicht zu verstehen.

Wird die Spannung U_A am Ausgang durch eine Laständerung oder durch einen Rückgang der Eingangsspannung U_E kleiner, dann wird die Lampe L zunächst etwas dunkler werden. Der weniger stark beleuchtete Fotowiderstand LDR 03 wird daher an Widerstand zunehmen. Die negative Basisspannung des Transistors T 1 vergrößert sich und wird einen größeren Strom I_C durch den Transistor und damit durch die Lampe zur Folge haben. Der Regelvorgang geht solange, bis die Lampe L wieder

ihre ursprüngliche Helligkeit erreicht. Damit liegt aber auch am Ausgang der zu stabilisierende Spannungswert an.

Der stabilisierende Spannungswert hängt, wie man leicht nachprüfen kann, von der Betriebsspannung der Glühlampe ab.

Bei einer Erhöhung der Eingangsspannung U_E oder einer Lastverkleinerung findet ein Regelvorgang in umgekehrter Richtung statt.

7 Versuche mit der Vierschichtdiode

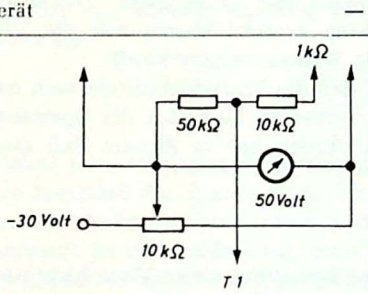
Die Vierschichtdiode ist ein Zweipol, der ähnlich einem Schalter zwei stabile Zustände besitzt. In dem einen Schaltzustand hat die Vierschichtdiode einen sehr hohen Widerstand, während sie in dem anderen voll durchgeschalteten Zustand fast den Wert Null annimmt.

7.1 Die Vierschichtdiode als Schalter

Diese ausgesprochene Schaltereigenschaft der Vierschichtdiode läßt sich sehr anschaulich mit der Schaltung in **Bild 38** und nach der **Tabelle 16** vorführen.

Tabelle 16. Steckerschema zu Bild 38

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1	Diode
							—				TF 80	4 E 20–28



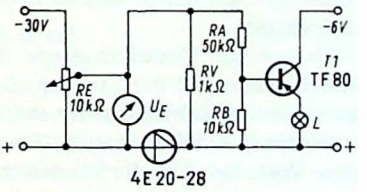


Bild 38. Vierschichtdiode als Schalter

Zunächst wird die Vierschichtdiode in der in **Bild 39** gezeigten Weise an das Grundgerät angeschlossen. Solange die an der Vierschichtdiode anliegende Spannung unterhalb ihrer Zündspannung liegt, entsteht an dem Widerstand R V kein Spannungsabfall.

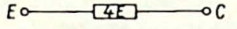


Bild 39. So wird die Vierschichtdiode an die Buchsen E und C angeschlossen

Der hieran angeschlossene Glühlampenanzeiger bleibt dunkel. Sobald aber über das Eingangspotentiometer eine ausreichend hohe Spannung eingestellt ist, zündet die Vierschichtdiode, und an R V liegt nunmehr ein großer Teil der Eingangsspannung an. An dem Aufleuchten des Glühlampenanzeigers erkennt man, daß dieser Übergang sprungartig erfolgt. Die Vierschichtdiode schaltet aber erst voll durch, wenn man die Eingangsspannung noch weiter erhöht. Auch dieser zweite Schaltsprung ist an dem Glühlampenanzeiger deutlich zu erkennen.

Aufgrund dieser Eigenschaften kann die Vierschichtdiode als eine Art elektronischer Schalter angesehen werden.

Dieser Versuch kann nochmals mit umgepolter Vierschichtdiode wiederholt werden. (Man braucht hierzu nur die Vierschichtdiode umgedreht in die Buchsen einstecken!)

Man wird dabei feststellen, daß die Vierschichtdiode auch nach dieser Umpolung als Schalter arbeitet. Lediglich die Spannung, bei der die Vierschichtdiode zündet, hat in diesem Fall einen anderen Wert.

7.2 Kennlinienaufnahme

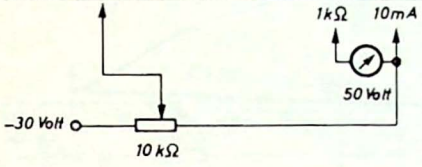
Den ungefähren Verlauf der Kennlinie einer Vierschichtdiode kann man mit der in **Bild 40** und **Tabelle 17** gezeigten Schaltung aufnehmen.

Da bei der Vierschichtdiode der Kennlinienverlauf von dem Innenwiderstand der Stromquelle abhängig ist, wollen wir uns hier mit der Ermittlung der charakteristischen Werte begnügen.

Zunächst erhöhen wir die Eingangsspannung von Null bis zu dem Wert, bei dem die Vierschichtdiode zündet. Bis zum Zünden

Tabelle 17. Steckerschema zu Bild 40

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	Diode 4 E 20–28



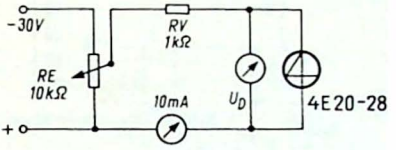


Bild 40. Schaltung zur Kennlinienaufnahme einer Vierschichtdiode

der Vierschichtdiode bleibt der durch sie hindurchfließende Strom sehr klein. Mit dem Erreichen dieses Zündpunktes stellen sich bei der Vierschichtdiode 4 E 70–28 im Punkt A folgende Werte ein:

$$I_1 = 4\ \text{mA}$$
$$U_1 = 20\ \text{V}$$

Wird nun die Eingangsspannung weiter vergrößert, so stellt man fest, daß die Spannung an der Vierschichtdiode bis zu dem Punkt B abnimmt, obwohl der durch sie hindurchfließende Strom zunimmt. In diesem Bereich kann die Vierschichtdiode als eine Art negativer Widerstand angesehen werden. Die Werte für den Punkt B der Kennlinie sind

$$I_2 = 45\ \text{mA}$$
$$U_2 = 1\ \text{Volt}$$

Hier hat die Vierschichtdiode ihren kleinsten Widerstandswert erreicht, und somit ist sie erst bei dem Punkt B voll durchgeschaltet (**Bild 41**).

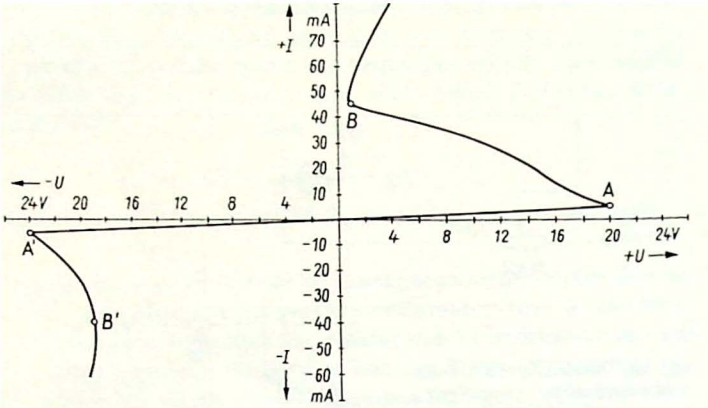


Bild 41. Kennlinie einer Vierschichtdiode

Durch Umpolen der Vierschichtdiode erhält man auf ganz analoge Weise die Werte für die Punkte A′ und B′.

7.3 Sägezahngenerator mit Vierschichtdiode

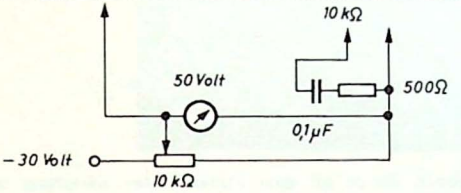
Wie man aus der Schaltung in **Bild 42** und der **Tabelle 18** entnehmen kann, ist der Aufbau eines Sägezahngenerators mit der Vierschichtdiode 4 E 20–28 recht einfach. Diese Schaltung läßt sich im Aufbau und in der Wirkungsweise mit einem Glimmlampensägezahn-Generator vergleichen.

Durch die am Eingang der Schaltung anliegende Spannung U_E wird der Kondensator C A über die Widerstände R V und R A aufgeladen. U_E muß dabei größer sein als die Zündspannung U_Z der Vierschichtdiode. Ist der Kondensator C A soweit aufgeladen, daß die an der Vierschichtdiode anliegende Spannung den Wert U_Z erreicht hat, schaltet sie durch und entlädt den Kondensator über R A, bis der Haltestrom unterschritten wird. Die Vierschichtdiode erlöscht, und der Vorgang wiederholt sich von neuem (**Bild 43**).

In Punkt 1 in Bild 42 entsteht eine Sägezahnschwingung, deren Frequenz zunächst von dem Widerstand R V und dem Kondensator C A abhängt. An Punkt 2 erkennt man den Entladestrom-

Tabelle 18. Steckerschema zu Bild 42

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	Diode 4 E 20–28
							—				



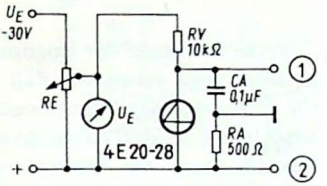


Bild 42. Astabiler Multivibrator mit einer Vierschichtdiode

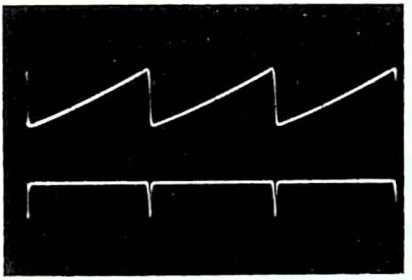


Bild 43. Dieses Oszillogramm wurde an den Punkten 1 und 2 des astabilen Multivibrators mit einer Vierschichtdiode abgenommen (siehe Bild 42)

stoß, der durch die Vierschichtdiode und den Widerstand R A fließt. Die Breite dieses Impulses kann in kleinen Grenzen durch den Wert von R A beeinflußt werden.

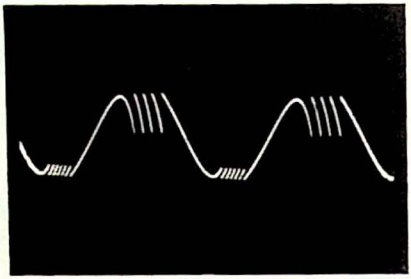


Bild 44. Dieses Oszillogramm wurde an dem Punkt 1 der Schaltung des Bildes 42 abgenommen. Anstelle einer Gleichspannung wurde an dem Eingang eine Wechselspannung angelegt

Verändert man die Spannung U_E am Eingang der Schaltung, so wird man erkennen, daß hiervon die Kurvenform und auch die Frequenz der Sägezahnschwingung beeinflußt werden können. Je höher die Eingangsspannung U_E gemacht wird, um so linearer steigt die Sägezahnspannung an.

Wird die Vierschichtdiode umgepolt, so hat dies auf die Wirkungsweise dieser Schaltung keinen nennenswerten Einfluß. Man erhält bei einer entsprechenden Eingangsspannung U_E, ebenso wie oben beschrieben, eine Sägezahnschwingung.

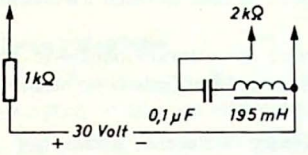
Dieses Verhalten der Vierschichtdiode wird besonders deutlich, wenn man an Stelle einer Gleichspannung an den Eingang dieser Schaltung eine Wechselspannung, bei der die Spitzenwerte etwas über den Zündspannungswerten der Vierschichtdiode liegen müssen, anschließt. Aus dem Oszillogramm in **Bild 44** sieht man mit einem Blick, daß die Vierschichtdiode in beiden Spannungsrichtungen Zündpunkte hat und somit in diesen Bereichen Sägezahnschwingungen entstehen können. Da bei einer Wechselspannung sich die momentanen Spannungswerte laufend ändern, ist die Sägezahnschwingung außerdem noch etwas frequenzmoduliert.

7.4 Sinusoszillator mit Vierschichtdiode

Bei dem Aufnehmen der Kennlinie der Vierschichtdiode konnte man erkennen, daß dieses Bauelement in dem Bereich von

Tabelle 19. Steckerschema zu Bild 45

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	Diode
							—				4 E 20–28



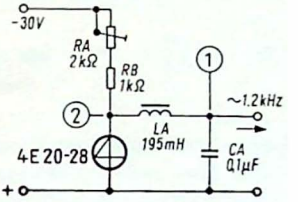


Bild 45. Schaltung eines Sinusoszillators mit einer Vierschichtdiode

A bis B und von A′ bis B′ als ein negativer Widerstand anzusehen ist.

Die Vierschichtdiode kann daher in diesem Bereich einen Schwingkreis entdämpfen, wenn man sie in Reihe zu dessen Verlustwiderstand schaltet (**Bild 45** und **Tabelle 19**).

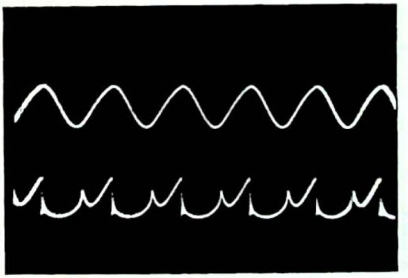


Bild 46. Spannungsverlauf an den Punkten 1 und 2 des Sinusoszillators mit einer Vierschichtdiode (vgl. Bild 45)

In der hier vorgeführten Schaltung bilden die Induktivität L A mit der hierzu in Reihe geschalteten Vierschichtdiode und der Kapazität C A einen Parallelschwingkreis.

Der Arbeitspunkt der Vierschichtdiode kann mittels des veränderlichen Widerstandes R A in den Bereich zwischen A und B gelegt werden.

Ist der negative Widerstand der Vierschichtdiode größer oder gleich dem Betrag des Verlustwiderstandes, so neigt die Schaltung zum Schwingen.

Am Ausgang der Schaltung entsteht dann bei optimaler Dimensionierung eine nahezu oberwellenfreie Sinusschwingung mit einer Spannung von $U_{ss} = 6\ \text{Volt}_{ss}$ (**Bild 46**).

8 Die Tunneldiode

8.1 Kennlinienaufnahme

Zunächst schließen wir die Tunneldiode TD 716 in der in **Bild 47** gezeigten Weise an das Grundgerät an.

Bei der Tunneldiode muß besonders sorgfältig auf eine richtige Polung geachtet werden, da sonst ihre Grenzschicht sehr leicht zerstört wird.

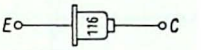


Bild 47. So wird die Tunneldiode TD 716 an das Grundgerät angeschlossen

Der Bereich, in dem die Kennlinie der Tunneldiode interessant ist, liegt bei relativ kleinen Spannungswerten. Man muß daher die Batteriespannung von 1,5 Volt noch über die veränderlichen Widerstände R 7 und R A herunterteilen (**Bild 48** und **Tabelle 20**).

Tabelle 20. Steckerschema zu Bild 48

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	Diode TD 716

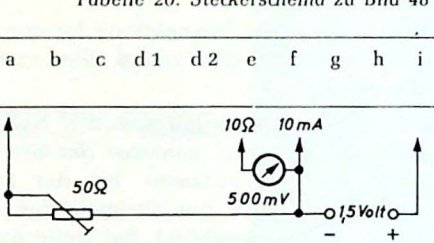


Bild 48. Schaltung zur Aufnahme der Kennlinie einer Tunneldiode

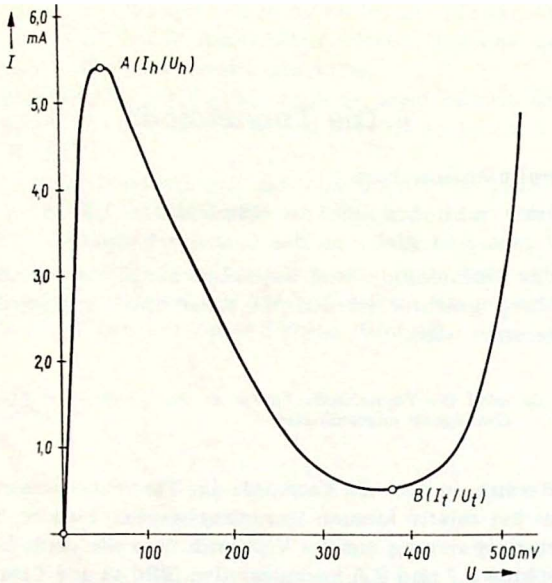


Bild 49. Kennlinie der Tunneldiode TD 716

Bei diesen Versuchen mit der Tunneldiode ist der veränderliche Widerstand R 7 immer mit dem vollen Wert von 100 Ohm in dem Stromkreis eingeschaltet.

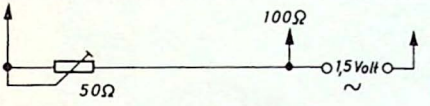
Wenn man nun den Regler R A langsam mit Null Ohm beginnend hochdreht, sieht man, daß zunächst der Strom I_t sehr schnell mit der Spannung U_t zunimmt, bis der sogenannte Höckerstrom I_h = 5,4 mA und die dazugehörige Spannung U_h = 60 mV in dem Punkt A erreicht ist. Bei weiterem Erhöhen der Spannung gelangt man in den Bereich der Tunneldiode, in dem diese sich wie ein negativer Widerstand verhält **(Bild 49)**.

Bei der vorliegenden Tunneldiode TD 716 endet dieser Bereich im Punkt B mit dem Werten

$$I_t = 0{,}6 \text{ mA}$$
$$U_t = 360 \text{ mV}$$

Tabelle 21. Steckerschema zu Bild 50

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	Diode TD 716
							—				



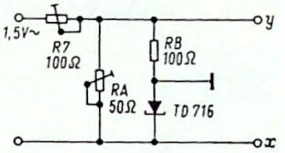


Bild 50. Schaltung zur Aufnahme der Kennlinie einer Tunneldiode mit dem Oszillografen

Mit der in **Bild 50** und **Tabelle 21** gezeigten Schaltung kann die Kennlinie der Tunneldiode auch oszillografisch aufgenommen werden (**Bild 51**).

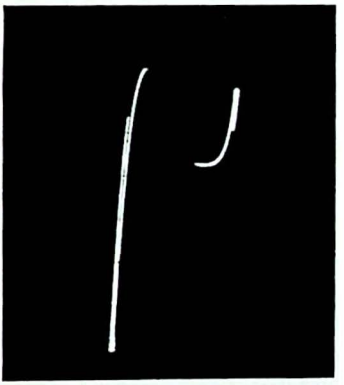


Bild 51. Oszillografisch aufgenommene Kennlinie der Tunneldiode TD 716

8.2 Astabiler Multivibrator mit Tunneldiode TD 716

Ersetzt man in der Schaltung des Bildes 48 den Widerstand R B durch eine Induktivität L A, so erhält man einen astabilen Multivibrator (**Bild 52** und **Tabelle 22**).

Tabelle 22. Steckerschema zu Bild 52

Grundgerät	a	b	c	d1	d2	e	f	g	h	i	Diode TD 716

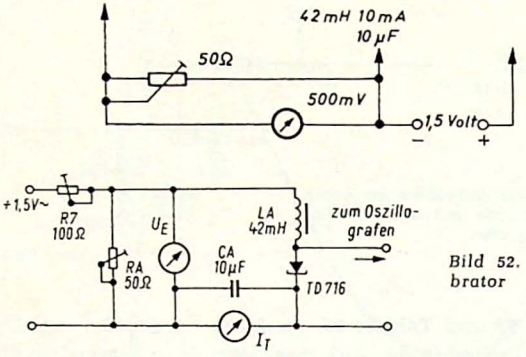


Bild 52. Astabiler Multivibrator mit Tunneldiode TD 716

Zunächst muß mit Hilfe der veränderlichen Widerstände R A und R 7 der richtige Arbeitspunkt für die Tunneldiode TD 716 eingestellt werden. Den richtigen und sogenannten aktiven Arbeitsbereich der Tunneldiode kann man an den beiden Meßinstrumenten erkennen.

In dem aktiven Bereich nimmt der Strom durch die Tunneldiode zu, obwohl die Spannung über R A kleiner gemacht wird (negativer Widerstand).

Beobachtet man gleichzeitig noch die am Ausgang entstehende Schwingung mit einem Oszillografen, so sieht man, daß die Multivibrator-Schwingung nur in diesem Bereich entsteht.

Der Multivibrator mit der Tunneldiode TD 716 arbeitet auf folgende Weise:

Durch den Einschaltstrom entsteht an der Spule eine Induktionsspannung, die der Batteriespannung entgegengesetzt ist. Hierdurch wird die Spannung an der Tunneldiode kleiner, so daß der Strom weiter anwächst. Dieser Vorgang dauert solange, bis der Arbeitspunkt aus dem aktiven Bereich herausgeschoben ist. Dann bedeutet eine Verringerung der Spannung an der

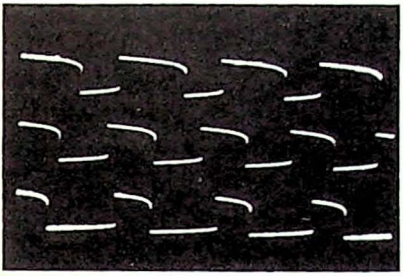


Bild 53. Über den veränderlichen Widerstand R A in Bild 52 kann das Tastverhältnis der Multivibratorschwingung variiert werden. Das Oszillogramm entstand durch dreimalige Belichtung

Tunneldiode wieder ein Kleinerwerden des Stromes. Damit wird aber auch die Richtung der Induktionsspannung umgedreht, d. h. der Arbeitspunkt wird wieder in den aktiven Teil der Kennlinie hereinwandern. Dieser Vorgang wiederholt sich in periodischer Folge. Die Frequenz der Wechselspannung ist abhängig von der Induktivität und dem Widerstand des Diodenkreises.

Mit der Eingangsspannung läßt sich der Arbeitspunkt der Tunneldiode in dem Bereich zwischen A und B verschieben. Von der Lage des Arbeitspunktes ist das Tastverhältnis der Schwingung abhängig. Somit kann über den Regler R A das Tastverhältnis eingestellt werden (**Bild 53**). Die Höhe der Ausgangswechselspannung ist nahezu unabhängig von der Eingangsspannung und beträgt ca. 300 mV_{ss}.

9 Versuche mit dem Unijunktion-Transistor

Der Unijunktion-Transistor ist ein reiner Schalttransistor, der einen leitenden und einen nichtleitenden Zustand besitzt. Das Umschalten von dem einen Zustand in den anderen erfolgt über die am Eingang E anliegende Spannung. Ein lineares Verstärken von Signalen, wie beim normalen Transistor, ist mit dem Unijunktion-Transistor somit nicht möglich.

Aufgrund der hier beschriebenen Eigenschaften des Unijunktion-Transistors kann man mit ihm einige interessante Schaltungen aufbauen.

9.1 Astabiler Multivibrator

Anhand der in **Bild 54** und **Tabelle 23** gezeigten Schaltung kann die Arbeitsweise dieses astabilen Multivibrators mit einem Unijunktion-Transistor gut vorgeführt werden.

Tabelle 23. Steckerschema zu Bild 54

Grund-gerät	a	b	c	d1	d2	e	f	g	h	i	T1 2 N 2646

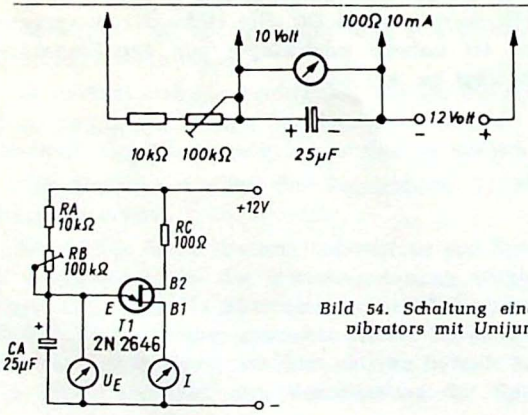


Bild 54. Schaltung eines astabilen Multivibrators mit Unijunktion-Transistor

Beim Anlegen der Betriebsspannung wird der Kondensator C A über die Widerstände R A und R B aufgeladen, solange, bis die Schwellspannung des Unijunktion-Transistors erreicht ist. Dann wird die Strecke E, B 1 leitend, und der Kondensator kann sich über den Strommesser entladen. Danach beginnt dieser Vorgang wieder von neuem.

Bei einer Kapazität von C A = 25 µF und einem Widerstand von R A + R B = 110 kΩ ist die Frequenz der Schwingung so klein, daß man diesen Vorgang gut an den eingebauten Meßinstrumenten mit verfolgen kann.

Verwendet man für C A an Stelle einer Kapazität von 25 µF nur eine solche von 0,04 µF, dann erhöht sich die Frequenz der Schwingung auf f = 350 Hz. Der Strommesser I muß dabei durch einen Widerstand R D = 56 Ohm ersetzt werden (**Bild 55**). Die entstehende Schwingung läßt sich gut mit dem Oszillografen

Tabelle 24. Steckerschema zu Bild 55

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1 2 N 2646

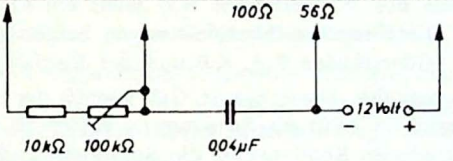
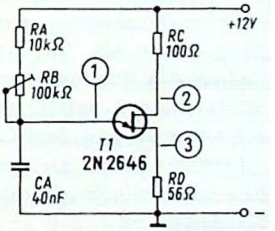


Bild 55. Multivibratorschaltung. An den mit 1 bis 3 bezeichneten Meßpunkten wurden die in Bild 56 gezeigten Oszillogramme abgenommen



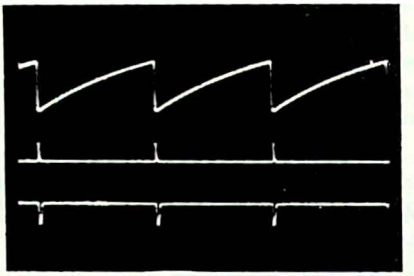


Bild 56. Dieses Oszillogramm zeigt, wie der astabile Multivibrator von Bild 55 arbeitet

darstellen (**Bild 56**). Die Frequenz der Schwingung ist von C A, von R A + R B und von der Betriebsspannung abhängig.

9.2 Elektronische Sirene

Betrachtet man zunächst die Schaltung von **Bild 57** und **Tabelle 25** bei geschlossenem Taster (Kurzschlußbügel T) und ohne den Kondensator C A, so ist diese nahezu identisch mit der Multivibratorschaltung des Bildes 55.

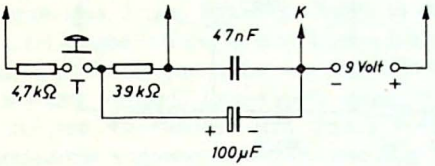
Nur an Stelle des Widerstandes R D wird ein Ohrhörer K eingeschaltet. Die Frequenz der Schwingung hängt somit auch hier von den Widerständen R A, R B und der Kapizität C B ab.

Wenn man nun den Kondensator C A gemäß der Schaltung in Bild 57 anschließt, reißt die Schwingung sofort ab, da durch den noch ungeladenen Kondensator die Spannung an E auf das Potential Null heruntergedrückt wird.

Erst wenn die Spannung an C A den Schwellwert des Unijunktion-Transistors erreicht hat, setzt die Multivibratorschwingung wieder ein. Dabei nimmt die Frequenz mit zunehmender Ladung des Kondensators zu. Zieht man den Kurzschlußbügel T wieder heraus, entlädt sich der Kondensator C A über R B, der E B 1-Strecke und dem Ohrhörer K. Damit wird auch die Multivibratorfrequenz kleiner. Durch wiederholtes Betätigen des Kurzschlußbügels entsteht im Ohrhörer ein sehr echt wirkendes Sirenengeheul.

Tabelle 25. Steckerschema zu Bild 57

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1 2 N 2646
						—					



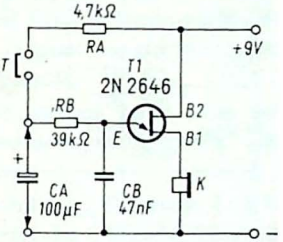


Bild 57. Schaltung einer elektronischen Sirene

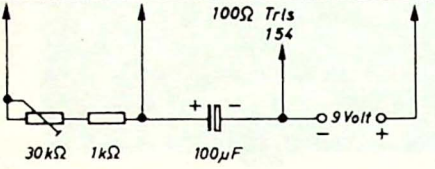
9.3 Zeitrelais mit einem Unijunktion-Transistor

Mit einem Unijunktion-Transistor kann man ohne großen Aufwand ein Zeitrelais mit veränderlicher Verzögerungszeit aufbauen. Die Schaltung dieses Zeitrelais ist in **Bild 58** und in der **Tabelle 26** wiedergegeben.

Die Wirkungsweise dieser Schaltung läßt sich aus den beiden vorhergegangenen Versuchen ableiten. Der Kondensator C A wird über die Widerstände R A, R B aufgeladen. Sobald die Schwellspannung erreicht ist, entlädt sich dieser über die Strecke E B_1 und das Kammrelais R. Da der Entladestromstoß nur kurze Zeit dauert, muß sich das Relais über einen Arbeitskontakt selbst halten. Die Einschalteverzögerungszeit kann hier über den veränderlichen Widerstand R A von 0,1 bis 10 Sekunden eingestellt werden. Dieser Verzögerungsbereich kann noch durch Auswechseln des Kondensators C A geändert werden.

Tabelle 26. Steckerschema zu Bild 58

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	T 1 2 N 2646



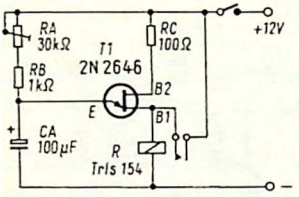


Bild 58. Schaltung eines Zeitrelais mit Unijunktion-Transistoren

10 Thyristoren und Triacs

Thyristoren und Triacs gewinnen heute in der industriellen Elektronik als trägheitsfreie Schalter immer mehr an Bedeutung. Die Ströme und Spannungen, die von diesen Bauelementen verarbeitet werden können, liegen weit über denen von Transistoren, so daß Thyristoren und Triacs weitgehend in der Starkstromtechnik angewandt werden und hier in vielen Fällen Schaltschütze ersetzen.

Die Eigenschaft der Thyristoren und Triacs, Eingangssignale nahezu trägheitslos zu verarbeiten, machen sie zu wichtigen Bauelementen der Steuer- und Regeltechnik.

Mit dem vorliegenden Experimentiersystem kann man die wichtigsten Eigenschaften der Thyristoren und Triacs auf experimentellem Wege kennen lernen.

Die Versuche werden hier zunächst mit dem Thyristor T 0,8 N begonnen und daran anschließend, wenn der Vergleich sinnvoll ist, mit dem Triac 40 430 wiederholt. Auf diese Weise soll der Unterschied zwischen diesen beiden Bauelementen hervorgehoben werden. Damit lernt dann jeder selbst zu entscheiden, für welche Anwendungen sich ein Thyristor oder ein Triac eignet.

10.1 Thyristor als Relais in Selbsthaltung

Bild 59 und **Tabelle 27** zeigen den Schaltungsaufbau, mit dem wir zunächst einmal die grundlegenden Eigenschaften eines Thyristors kennen lernen können.

Wir drehen den Regler R 7 ganz auf, so daß am Thyristor die volle Batteriespannung von 9 Volt anliegt. Die Lampe L bleibt dunkel, d. h. der Thyristor hat noch nicht gezündet und sperrt daher diesen Stromkreis vollständig ab. Durch das Einschalten des Widerstandes R A gemäß der Schaltung in Bild 59 wird ein ausreichend großer Spannungsstoß auf die Zündelektrode des Thyristors gegeben. Hierdurch wird der Thyristor einge-

Tabelle 27. Steckerschema zu Bild 59

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	TR 1 T 0,8 N
		—	—	—				—			

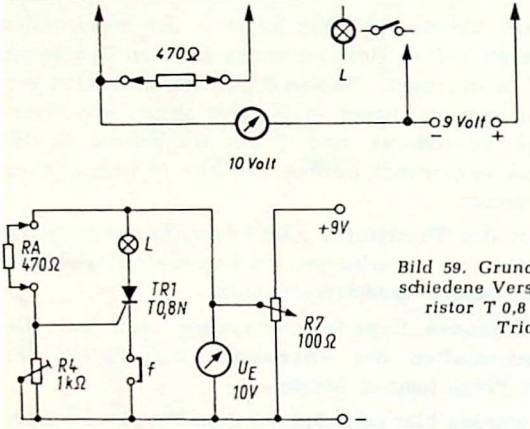


Bild 59. Grundschaltung für verschiedene Versuche mit dem Thyristor T 0,8 N und mit dem Triac 40 430

schaltet. Man erkennt dies am hellen Aufleuchten der Lampe L. Die Lampe brennt auch weiter, wenn die Zündspannung durch Herausnehmen des Widerstandes R A auf den Wert Null zurückgeht.

Möchte man den Thyristor wieder abschalten, so kann man dies auf folgende Weise tun:

1. durch Auftrennen des Hauptstromkreises, in dem man den Kurzschlußbügel in f zieht,
2. durch kurzzeitiges Kurzschließen des Thyristors,
3. durch Herabsetzen der Eingangsspannung mit Hilfe des Reglers R 7.

Alle hier vorgeführten Methoden, einen Thyristor zum Erlöschen zu bringen, gehen darauf hinaus, die am Thyristor anliegende Spannung unter seine Haltespannung herunterzudrücken.

Man erkennt, daß das Verhalten des Thyristors in dieser Schaltung dem eines Relais in Selbsthaltung entspricht.

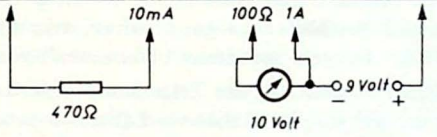
10.2 Widerstandsmessung am Thyristor

Wir wandeln die unter 10.1 beschriebene Schaltung etwas ab, indem an Stelle der Glühbirne ein regelbarer Hochlastwiderstand R B (100 Watt) eingeschaltet wird (**Bild 60** und **Tabelle 28**).

In den Zündkreis wird ein Strommesser mit einem Bereich von 10 mA, in den Hauptstromkreis ein Strommesser mit einem Bereich von 1 A und parallel zum Thyristor ein Spannungsmesser mit einem Bereich von 10 Volt eingeschaltet.

Tabelle 28. Steckerschema zu Bild 60

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	Th 1 T 0,8 N
		—	—								



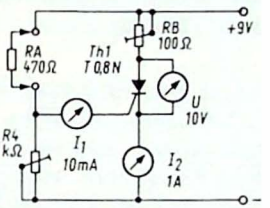


Bild 60. Widerstandsmessung an einem Thyristor im ein- und ausgeschalteten Zustand

Solange der Thyristor sperrt, liegt an ihm die volle Batteriespannung an. Der Strom I_2 ist nahezu Null, d. h. der Thyristor ist in diesem Schaltzustand sehr hochohmig.

Wird der Thyristor gezündet, indem man den Widerstand R A einschaltet, fließt im Hauptstromkreis ein vorwiegend von R B abhängiger Strom, und gleichzeitig wird der Spannungsabfall am Thyristor sehr klein. Der Strom I_1 im Zündstromkreis ist im Verhältnis zu I_2 vernachlässigbar klein, und er ist außerdem auch unabhängig von I_2. Diese Tatsache kann nachgeprüft werden, wenn man den Widerstand R B verändert und dabei die

Strommesser I_1 und I_2 beobachtet. Trennt man den Zündkreis durch den Steckwiderstand R A auf, so ändert sich am Strom im Hauptstromkreis überhaupt nichts. Der Zündstrom geht dagegen sofort auf den Wert Null zurück.

Der gemessene ohmsche Widerstand beträgt bei dem vorliegenden Thyristor T 0,8 N und einem Hauptstrom von $I_2 = 1$ A

$$R = \frac{U}{I_2} = \frac{0{,}5}{1} = 0{,}5 \text{ Ohm}$$

10.3 Verhalten des Triacs bei Gleichstrombetrieb

Die in den Abschnitten 10.1 und 10.2 beschriebenen Versuche können auch mit einem Triac wiederholt werden. Dabei wird man feststellen, daß die Versuche ganz genau, wie wenn diese mit einem Thyristor gemacht werden würden, verlaufen.

Diese Tatsache zeigt, daß sich der Triac im Gleichstrombetrieb wie ein Thyristor verhält, da in diesem Falle nur eine der beiden gegeneinandergeschalteten Diodenstrecken leitend werden kann (**Bild 61**).

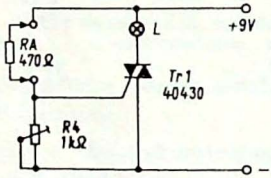


Bild 61. Bei Gleichstrombetrieb arbeitet ein Triac wie ein Thyristor, da hier nur eine Triacdiode in Durchlaßrichtung betrieben werden kann

10.4 Thyristor als Relais ohne Selbsthaltung

Für diesen Versuch verwenden wir noch einmal die in Bild 59 gezeigte Schaltung; nur legen wir jetzt an den Eingang der Schaltung an Stelle einer Gleichspannung eine Wechselspannung an. Wir stellen fest, daß auch hier beim Einstecken des Widerstandes R A sofort die Lampe L aufleuchtet. Sobald man aber

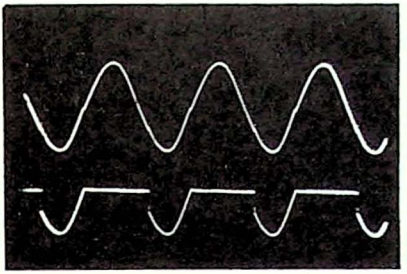


Bild 62. Dieses Oszillogramm zeigt, daß an dem Verbraucher im Hauptstromkreis eines Thyristors nur eine Halbwellenspannung anliegt. Die Zündelektrode wird mit einer Wechselspannung angesteuert

diesen Widerstand herauszieht, erlischt die Lampe wieder. Die Schaltung hält sich nicht mehr selbst.

Die Tatsache ist darauf zurückzuführen, daß der Thyristor sofort mit dem nächsten Nulldurchgang der angelegten Sinusspannung in den nicht leitenden Zustand übergeht. Eine erneute Zündung kann erst erfolgen, wenn der Widerstand R A wieder eingeschaltet wird.

Wie man aus dem Oszillogramm in **Bild 62** sieht, liegt an der Lampe nur eine Halbwellenspannung an, da die Gegenrichtung von der Thyristordiode gesperrt wird. Außerdem erkennt man an diesem Oszillogramm, daß der Thyristor nicht sofort nach dem Nulldurchgang der Sinusspannung sondern erst von einem bestimmten Spannungswert an zündet. Die an der Glühlampe anliegende Halbwellenspannung ist somit auch nicht voll ausgebildet.

Wenn man diesen Versuch mit einem Triac wiederholt, erkennt man zunächst, daß bei gleicher Eingangsspannung die Lampe L wesentlich heller aufleuchtet. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die beiden gegeneinandergeschalteten Triacdioden beide Halbwellen einer Sinusspannung durchschalten.

Wie man aus dem Oszillogramm in **Bild 63** entnehmen kann, entsteht beim Triac durch die beiden gegeneinandergeschalteten Dioden keine Vollweggleichrichtung, sondern die Wechselspan-

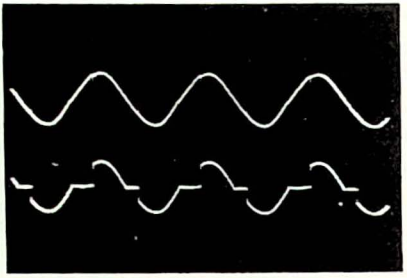


Bild 63. Dieses Oszillogramm zeigt, daß an dem Verbraucher im Hauptstromkreis eines Triacs nahezu die volle Sinusspannung anliegt. Die Zündelektrode wurde mit einer Wechselspannung angesteuert

nung bleibt, solange der Triac gezündet hat, in ihrer Sinusform erhalten.

Die auf dem Oszillogramm sichtbaren „Ecken" in der Sinuslinie entstehen dadurch, daß die beiden Diodenstrecken beim Triac nicht bereits bei Null Volt zünden, sondern erst von einem bestimmten Spannungswert an. Je größer man die Betriebsspannung macht, um so weniger fallen diese Fehlstellen in der Sinuslinie ins Gewicht.

Vergleicht man in Bild 63 die positive Halbwelle mit der negativen, so erkennt man, daß beide Halbwellen einen unterschiedlichen Einschaltpunkt haben. Diese Tatsache weist darauf hin, daß die beiden Triacdioden bei verschiedenen Spannungen zünden.

Man kann dieses Verhalten unter nochmaliger Verwendung der Schaltung in Bild 59 in einem einfachen Versuch anschaulich vorführen. Zu beachten ist, daß hier an Stelle eines Thyristors ein Triac anzuschließen ist.

Vergrößert man in dieser Schaltung von Null an die Eingangsspannung kontinuierlich, erkennt man, daß die Glühlampe L erst beim Erreichen der Schwellspannung der einen Triacdiode aufleuchtet.

Bei weiterem Erhöhen der Eingangsspannung wird dann schließlich auch die Schwellspannung der anderen Triacdiode

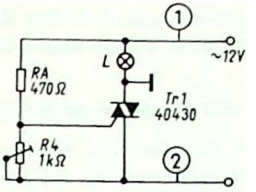


Bild 64. Experimentierschaltung für einen Triac bei Wechselstrombetrieb. Die in Bild 65 gezeigten Oszillogramme sind an den Punkten 1 und 2 abgenommen

erreicht. Dabei leuchtet die Lampe L sprungartig wesentlich heller auf.

Wird dieser Versuch mit dem Oszillografen überwacht, sieht man, daß an der Glühlampe L zunächst eine Halbwellenspannung und erst nach dem Erreichen der Schwellspannung der zweiten Triacdiode eine nahezu volle Sinusspannung anliegt.

In einem weiteren Oszillogramm werden bei diesen Betriebsverhältnissen des Triacs gleichzeitig die Spannungsverläufe an der Glühlampe L (U_L) und an dem Triac (U_T) gezeigt.

Man erhält dieses Oszillogramm mit der Schaltung in **Bild 64**. Hieraus erkennt man, daß sich U_L und U_T wieder zu einer Sinuslinie ergänzen müssen. Die am Triac anliegenden Spannungsabschnitte passen daher genau, wenn man U_T um 180° dreht, in den Kurvenzug an der Glühlampe L. (Die Phasendrehung von 180° hat mit der Schaltung nichts zu tun, sondern hängt damit

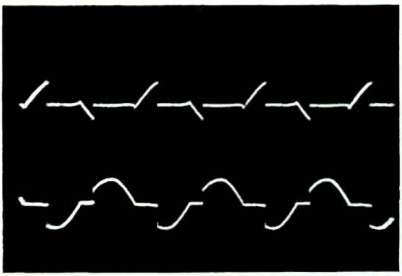


Bild 65. Beide Oszillogramme müssen sich wieder zu einer vollen Sinuslinie ergänzen, wenn man die an der Lampe L anliegende Spannung um 180° dreht

zusammen, daß das Zweifach-Oszillogramm nur in der hier gezeigten Weise abgenommen werden kann; **Bild 65**).

10.5 Phasenanschnittsteuerung

Bei den im Abschnitt 10.4 beschriebenen Versuchen ist die Zündspannung U_Z immer in Phase zu der am Thyristor oder Triac anliegenden Spannung U_T. Dadurch erreicht man, daß die Zündung zu dem frühest möglichen Zeitpunkt erfolgt. Verändert man durch einen Phasenschieber die Phasenlage der Spannungen U_Z und U_T zueinander, so zündet der Thyristor bzw. Triac zu einem späteren Zeitpunkt (**Bild 66** und **Tabelle 29**). Damit können sich auch die Halbwellen, bei denen diese Bauelemente stromdurchlässig sind, nicht mehr voll ausbilden, d. h. der Verbraucher bekommt eine geringere Leistung angeboten. Man erkennt dies daran, daß die Lampe dunkler leuchtet, je größer man die Phasenverschiebung macht.

In unserem Beispiel erzeugen wir die Phasenverschiebung durch Parallelschalten eines bipolaren Kondensators zu dem Widerstand R 4. Die Lampe L wird beim Einschalten dieses Kondensators deutlich dunkler.

Tabelle 29. Steckerschema zu Bild 66

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	Th 1 T 0,8 N
		—	—	—			—				

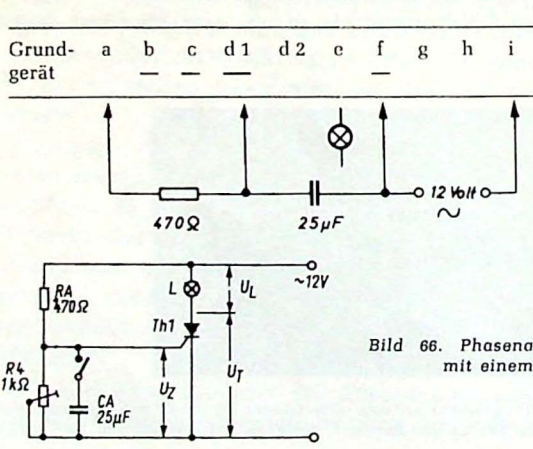


Bild 66. Phasenanschnitt-Steuerung mit einem Thyristor

11 Versuche mit dem Diac

11.1 Kennlinie des Diacs

Die Diac-Kennlinie kann mit der in **Bild 67** und in **Tabelle 30** gezeigten Schaltung aufgenommen werden.

Tabelle 30. Steckerschema zu Bild 67

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	D 1 40583

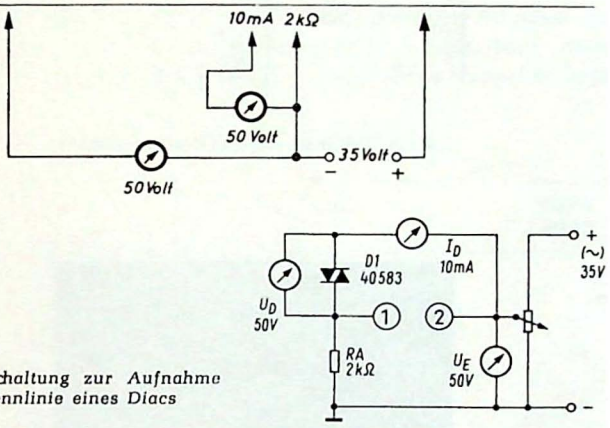


Bild 67. Schaltung zur Aufnahme der Kennlinie eines Diacs

Zunächst stellen wir fest, daß kein Strom fließt, obwohl die Spannung am Eingangsregler laufend erhöht wird. Erst bei einer Eingangsspannung von etwa 25 Volt zündet der Diac.

Sobald der Diac gezündet hat, nimmt der Strom sehr schnell, wie bei einer normalen Diode, mit der Eingangsspannung zu (**Bild 68**).

Polen wir den Diac um, indem wir ihn anders herum in die Buchsen E und C einstecken, und wiederholen wir die Messung

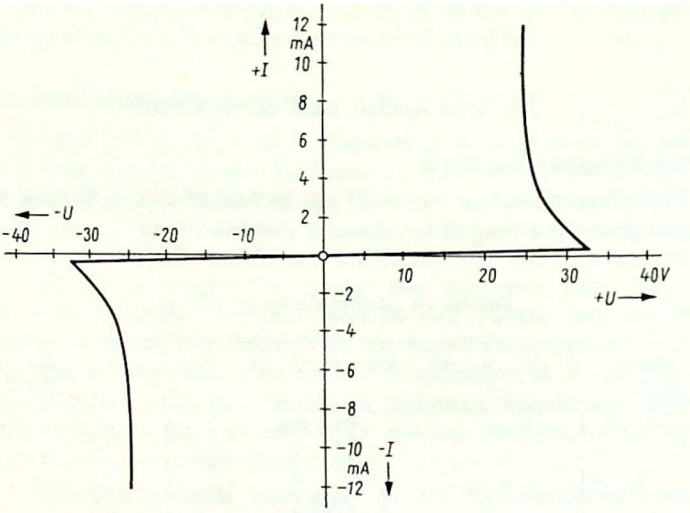


Bild 68. Kennlinienverlauf des Diacs 40 583

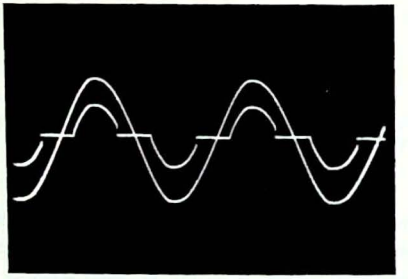


Bild 69. Der Diac erzeugt positive und negative Zündimpulse zum Ansteuern eines Triacs. In dem Oszillogramm sind diese am Punkt 1 des Bildes 67 abgenommen. Am Eingang der Schaltung liegt eine Sinusspannung

noch einmal, dann ergibt sich genau derselbe Kennlinienverlauf. Der Diac setzt sich somit aus zwei gegeneinandergeschalteten Dioden zusammen, die aber erst von einer Spannung von 25 Volt an stromdurchlässig werden. Der Diac wird ausschließlich zum Ansteuern eines Triacs verwendet. Er erzeugt die Starterstromimpulse, die den Triac während einer jeden Wechselspannungshalbwelle in den Durchlaßzustand versetzt (**Bild 69**).

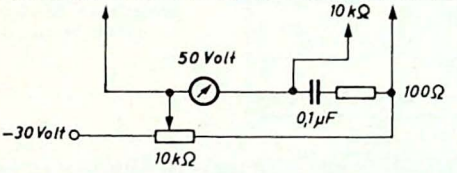
11.2 Multivibrator mit einem Diac

Es ist sicher noch wenig bekannt, daß man mit einem Diac Multivibratorschwingungen, ganz ähnlich wie mit einer Vierschichtdiode, erzeugen kann.

Bei der Aufnahme der Kennlinie des Diacs haben wir gesehen, daß dieser erst bei einer bestimmten Spannung vom Sperrzustand in den leitenden Zustand übergeht. Schalten wir parallel zum Diac einen Kondensator C A, der über einen Widerstand R A aufgeladen wird, so wird diese Kapazität beim

Tabelle 31. Steckerschema zu Bild 70

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i	Diode 40583
							—				



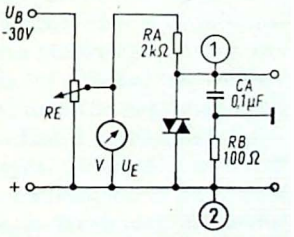


Bild 70. Auch mit dem Diac kann ein astabiler Multivibrator, ähnlich wie mit der Vierschichtdiode, aufgebaut werden

Erreichen der Zündspannung des Diacs über diesen rasch entladen (**Bild 70** und **Tabelle 31**).

Das Spiel wiederholt sich in periodischer Folge. Die Frequenz der Schwingung hängt von der Betriebsspannung, dem Widerstand R A und Kondensator C A ab. Der Widerstand R B dient als Schutzwiderstand, da hierdurch der Entladestromstoß begrenzt werden kann (**Bild 71**).

Ein Umpolen des Diacs hat auf die Multivibratorschwingung keinen Einfluß.

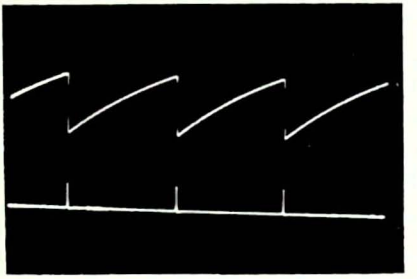


Bild 71. Dieses Zweifach-Oszillogramm zeigt die an dem Kondensator C A entstehende Sägezahnschwingung und den durch den Widerstand R B fließenden Entladestromstoß

12 Zusatzgerät für Schaltungen mit zwei Transistoren

Mit dem Grundgerät dieses Experimentiersystems können nur Versuche und Halbleiterkombinationen mit einem Transistor durchgeführt werden. Dies würde aber eine erhebliche Einschränkung sein, wenn man diese Methode als Hilfe zur Entwicklung von elektronischen Schaltungen benützen möchte. Daher wurde mit diesem Zusatzgerät für Schaltungen mit zwei Transistoren die Variationsbreite der Experimentiermöglichkeiten ganz wesentlich erweitert. In **Bild 72** sind die Leitungswege des Zusatz-

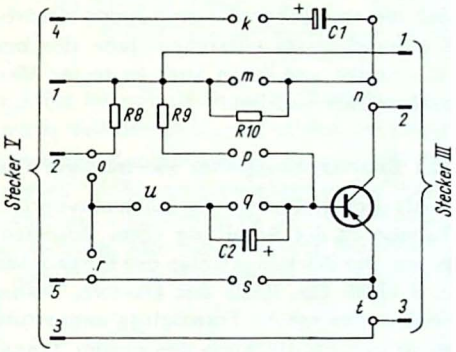


Bild 72. Leitungswege des Zusatzgerätes für Versuche mit zwei Transistoren. Dieses Zusatzgerät wird über eine fünfpolige Steckverbindung (Stecker V) an das Grundgerät angeschlossen

gerätes dargestellt. Es wird über die fünfpolige Steckverbindung V an das Grundgerät angeschlossen. Das Zusatzgerät erlaubt zum Beispiel neben zweistufigen Gleichspannungs- und Wechselspannungsverstärkern auch die verschiedenen Multivibratortypen experimentell zu erproben. In den folgenden Abschnitten werden einige grundlegende Schaltungen einschließlich des jeweiligen Steckerschemas besprochen. Hier sei nochmals betont, daß sämtliche Schaltungen ohne Lötverbindungen, sondern nur durch Stecken von Verbindungsbügeln oder Bauelementen nach dem Steckerschema hergestellt werden können. Wenn man die jewei-

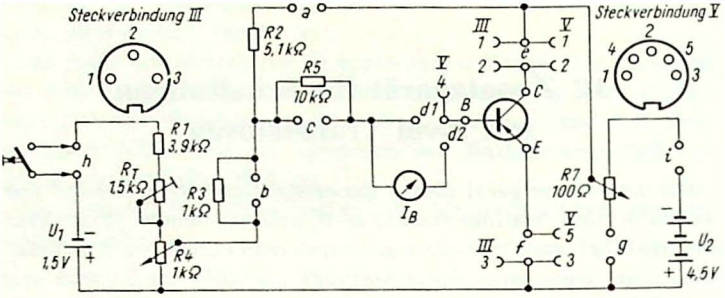


Bild 73. Zum besseren Verständnis wiederholen wir hier die Schaltung des Grundgerätes, an das das Zusatzgerät nach Bild 72 angeschlossen wird

ligen Steckerschemata mit den Schaltungen des Grund- und Zusatzgerätes (Bild 72 und Bild 73) vergleicht, wird man erkennen, daß die angegebenen Schaltungen tatsächlich nach Angaben dieser Steckerschemata entstehen. Jede der besprochenen Schaltungen ist erprobt und kann auch in freier Verdrahtung experimentell nachgeprüft werden.

12.1 Emittergekoppelter zweistufiger Gleichstromverstärker

Als Beispiel eines Gleichstromverstärkers ist in **Bild 74** und **Tabelle 32** die Schaltung eines Fotostromverstärkers wiedergegeben. Die Wirkungsweise der Eingangsschaltung ist dieselbe wie in Bild 23. Die Basis des zweiten Transistors ist direkt an den Emitter des ersten Transistors angeschlossen. Der Strom I_E, der durch den Emitterkreis des ersten Transistors infolge des Fotostromes der belichteten Fotodiode fließt, erzeugt an dem Emitterwiderstand R 6 einen Spannungsabfall, der seinerseits wiederum eine Basisspannung von der Größe $U_{BE} = I_E \cdot R\,6$ an der Basis des zweiten Transistors erzeugt. Eine Stromgegenkopplung tritt in diesem Falle nicht auf, da die Spannung der Fotodiode direkt zwischen Emitter und Basis des ersten Transistors liegt. Die ganze Anordnung ist wesentlich empfindlicher, als wenn der Fotostrom nur durch einen Transistor verstärkt wird.

Wie man in dieser Schaltung leicht nachweisen kann, verstärkt der emittergekoppelte Gleichspannungsverstärker phasengleich.

Tabelle 32. Steckerschema zu Bild 74

Grundgerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i		T 1
				⏚	TP 61	⎓	R 6					AC 151
Zusatzgerät I	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	T 2
				5 mA			–	–		–	–	AC 151

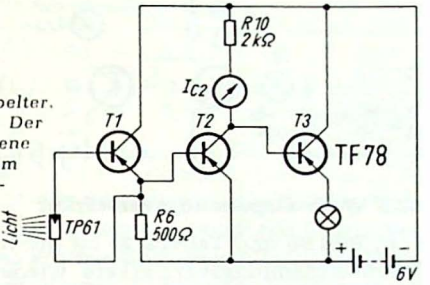


Bild 74. Emitter-Basis-gekoppelter, zweistufiger Fotostromverstärker. Der an den Transistor T 2 angeschlossene Glühlampenanzeiger erlischt beim Belichten der Fotodiode am Eingang des Transistors T 1

Im unbelichteten Zustand der Fotodiode fließt im Kollektorkreis des zweiten Transistors nur der Strom I_{CE}. Er nimmt proportional mit der Beleuchtungsstärke der Fotodiode zu. Schließt man an den Transistor T 2 einen Glühlampenanzeiger in Kollektor-Basis-Kopplung an, so wird die Glühlampe im unbelichteten Zustand der Fotodiode aufleuchten. Mit zunehmender Beleuchtung des Fotowiderstandes wird die Glühlampe dunkler, bis sie schließlich ganz erlischt.

12.2 Kollektorgekoppelter zweistufiger Gleichspannungsverstärker

Wird derselbe Versuch bei einem kollektorgekoppelten Gleichspannungsverstärker durchgeführt (**Bild 75** und **Tabelle 33**), so erkennt man, daß diese Verstärkung mit einer Phasendrehung von 180° erfolgt. Der Strommesser im Kollektorkreis des zweiten Transistors zeigt im unbelichteten Zustand der Fotodiode einen nur durch seinen Innenwiderstand begrenzten Strom I_{C_2} an. Dieser Kollektorstrom nimmt dann mit zunehmender Belichtung der Fotodiode ab.

Tabelle 33. Steckerschema zu Bild 75

Grund-gerät	a	b ↑TP61↑	c	d 1	d 2 –	e	f –	g	h	i –		T 1 AC 151
Zusatz-gerät I	k	l	m –	n 10 mA	o –	p	q –	r	s	t –	u –	T 2 AC 151

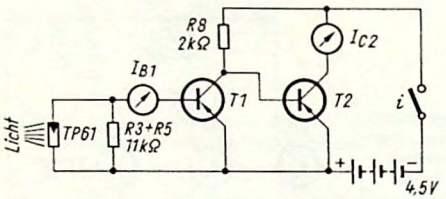


Bild 75. Zweistufiger Fotostromverstärker mit Kollektor-Basis-Kopplung

12.3 Wechselspannungsverstärker

In **Bild 76** und **Tabelle 34** ist die Schaltung eines zweistufigen Wechselspannungsverstärkers wiedergegeben. In dieser Schaltung ist der Transistor T 2 über den Kondensator C 2 an den Kollektor des Transistors T 1 angekoppelt. Die Basisgleichspannung des zweiten Transistors wird hier über den Widerstand R 9 erzeugt. Im Kollektorkreis des zweiten Transistors ist ein Kopfhörer K als Indikator eingeschaltet. Schließen wir wiederum an den Eingang des ersten Transistors eine Fotodiode an, so wird beim Beleuchten der Diode mit einer Taschenlampe das hieraus folgende Gleichstromsignal nicht auf den Ausgang des zweiten Transistors übertragen.

Dagegen nimmt man im Kopfhörer beim Einschalten einer Glühlampe einen kurzen abklingenden Ton wahr. Er wird dadurch erzeugt, daß der Glühfaden der Lampe beim Einschalten in mechanische Schwingungen gerät, die den Lichtstrahl ebenfalls mitbewegen. Das auf diese Weise modulierte Licht erzeugt über die Fotodiode einen kleinen Wechselstrom, der durch die Transistoren T 1 und T 2 weiter verstärkt wird und dann im Kopfhörer wahrgenommen werden kann.

Mit dieser Schaltung läßt sich auch noch ein weiterer eindrucksvoller Versuch durchführen, indem man die Fotodiode mit einer Gleichstromlichtquelle beleuchtet und zwischen Lichtquelle und Fotodiode Zigarettenrauch bläst. Man hört im Kopfhörer ein lau-

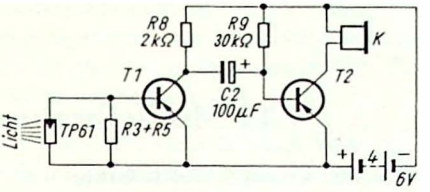


Bild 76. Zweistufiger Wechselstromverstärker. Anstelle eines Strommessers ist in den Kollektorkreis des Transistors T 2 ein Kopfhörer eingeschaltet

Tabelle 34. Steckerschema zu Bild 76

Grund-	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i		T 1
gerät		↑TP 61↑		–			–					AC 151
Zusatz-	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	T 2
gerät I			–	K	–	–				–	–	AC 151

tes Rauschen. Es wird durch die dem Rauch anhaftenden Rußteilchen, die den Lichtstrahl durchqueren, erzeugt. Sie überlagern dem Gleichlicht einen kleinen Wechsellicht-Anteil. Wird die Fotodiode von einer 50-Hz-Wechselstrom-Lichtquelle beleuchtet, so nimmt man im Kopfhörer ein 100-Hz-Brummen wahr, weil die Glühlampe auf jeden Nulldurchgang der angelegten Wechselspannung anspricht.

13 Multivibratorschaltungen

13.1 Der astabile Multivibrator

In **Bild 77** und **Tabelle 35** ist die Experimentierschaltung eines astabilen Multivibrators wiedergegeben. Die Multivibratorschwingung zwischen den beiden Transistoren T 1 und T 2 läßt sich etwa wie folgt erklären: Geht man davon aus, daß gerade der Transistor T 1 stromführend ist, dann ist auch das Potential an dessen Kollektor positiv. Dieses Potential überträgt sich über den Kondensator C 2 auf die Basis des Transistors T 2. Dadurch wird der Transistor T 2 gesperrt. Der Kondensator C 2 kann sich nun über den Widerstand R 9 entladen, bis das Potential an der Basis des Transistors T 2 wieder einen negativen Wert erreicht hat. Damit fließt sofort durch den Transistor T 2 ein Strom. Er

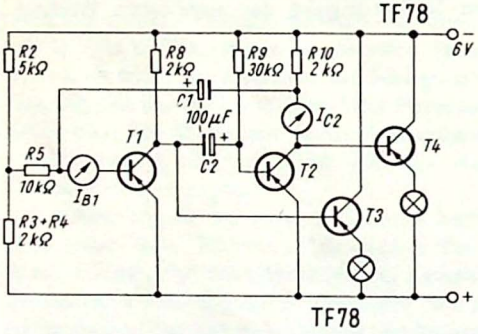


Bild 77. Schaltung eines astabilen Multivibrators. Zum Anzeigen der Kippschwingung wird an die Transistoren T 1 und T 2 je ein Glühlampenanzeiger angeschlossen

Tabelle 35. Steckerschema zu Bild 77

Grundgerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i			T 1 AC 151
	–				–		–						
Zusatzgerät I	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u		T 2 AC 151
	–			10 mA	–	–				–	–		

bewirkt, daß nun der Kollektor des Transistors T 2 ein positives Potential erhält. Dieses positive Potential überträgt sich wieder über den Kondensator C 1 auf die Basis des Transistors T 1. Er sperrt, und das beschriebene Spiel wiederholt sich.

Wie lange die Transistoren T 1 und T 2 stromführend oder gesperrt sind, hängt von den Zeitgliedern der Elemente C 2 und R 9 bzw. C 1 und R 2 ab. Wird für C 1 und C 2 eine Kapazität von 50 µF verwendet, so entstehen Multivibratorschwingungen mit einer Frequenz von etwa ½ Hz. Die Frequenz kann durch den Strommesser im Kollektorkreis des zweiten Transistors und durch den Strommesser in der Basiszuleitung des ersten Transistors angezeigt werden.

Man sieht an dem Strommesser im Kollektorkreis des zweiten Transistors, daß die Transistoren momentan vom stromführenden in den gesperrten Zustand umkippen, während der Basisstrom des Transistors T 1 von dem Ladezustand des betreffenden Kondensators C 1 abhängt.

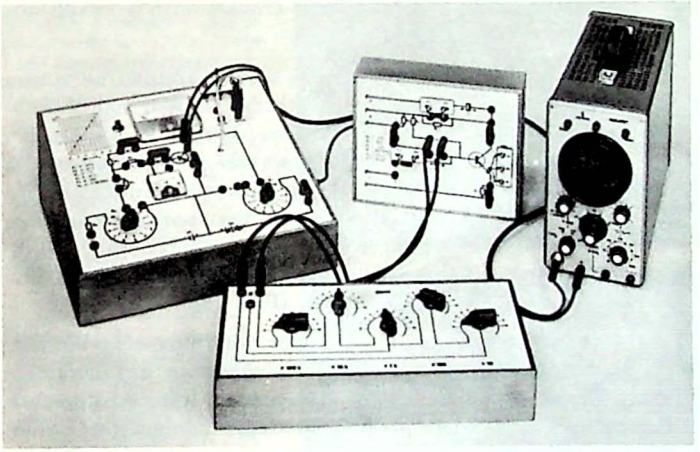


Bild 78. Versuchsaufbau zum Studium eines astabilen Multivibrators. Mit der Widerstandsdekade an den Klemmen p kann das Tastverhältnis der Kippschwingung verändert werden

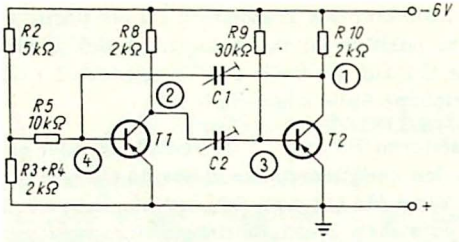


Bild 79. An den mit den Zahlen 1 bis 4 bezeichneten Meßpunkten des astabilen Multivibrators wurden die in den Bildern 80 bis 86 gezeigten Oszillogramme abgenommen

Man sieht an dem Basisstrommesser, daß diese Entladung des Kondensators C 1 nach einer Exponentialfunktion erfolgt. Man kann an diesem Basisstrommesser beobachten, wie beim Erreichen eines ganz bestimmten, von der Ladespannung an C 1 abhängigen Stromwertes die Transistoren in ihrem Schaltzustand umkippen.

Diese Versuchsanordnung kann noch durch Hinzufügen von zwei Glühlampenanzeigern, mit denen der Signalzustand der einzelnen Transistoren zur Anzeige gebracht wird, erweitert werden. Man erkennt dann gut, wie die beiden Transistoren wechselseitig stromführend sind.

Die Werte für die Zeitkonstanten T_1 und T_2 können bei dieser Versuchsanordnung leicht verändert werden, indem man die Kapazitäten C 1 und C 2 durch größere oder kleinere Werte ersetzt. Wird nur der Wert eines Kondensators verändert, so ändert sich dadurch das Tastverhältnis der Multivibratorschwingung. Wird für C 1 und C 2 eine Kapazität von 10 nF verwendet, so ergeben sich Multivibratorschwingungen von rund 400 Hz. Eine Multivibratorschwingung dieser Frequenz kann mit Hilfe eines Oszillografen zur Anzeige gebracht werden (**Bild 78**).

Die an den verschiedenen Punkten der Schaltung aufgenommenen Oszillogramme machen die Wirkungsweise des astabilen Multivibrators besonders anschaulich. In die Multivibratorschaltung nach Bild 77 sind in **Bild 79** die Stellen, an denen die Oszillogramme der **Bilder 80** bis **86** abgenommen wurden, mit Zahlen bezeichnet. Bei allen Oszillogrammen wurde der Pluspol der Schaltung mit der Messebuchse des Oszillografen verbunden.

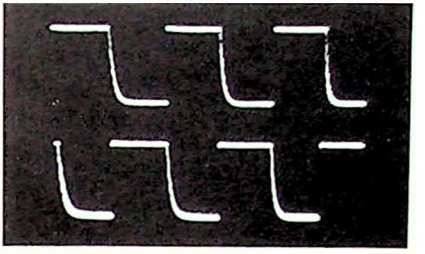


Bild 80. Dieses Oszillogramm wurde mit einem elektronischen Schalter an den Meßpunkten 1 und 2 aufgenommen. Man erkennt deutlich, daß, wenn der eine Transistor gesperrt ist, der andere stromführend ist und umgekehrt

Tastverhältnis: 1 : 1

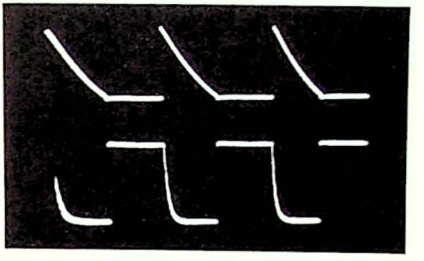


Bild 81. Wie Bild 80, jedoch an den Punkten 1 und 3 aufgenommen. Die positive Spannung an der Basis nimmt entsprechend der Entladung von C 2 exponentiell ab, bis beim Erreichen einer bestimmten Basisspannung der Transistor in den stromführenden Zustand umkippt

Tastverhältnis: 1 : 1

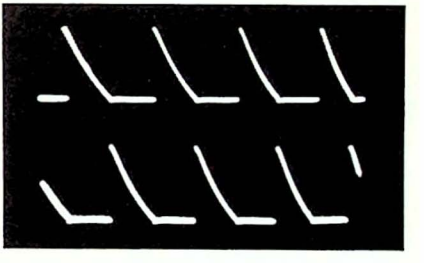


Bild 82. Wie Bild 81, jedoch an den Punkten 3 und 4 aufgenommen. Man sieht an diesem Oszillogramm, wie sofort nach dem Erreichen der Basisspannung, bei welcher der eine Transistor stromführend wird, die Basis des anderen Transistors einen starken positiven Spannungsimpuls erhält und somit diesen Transistor sperrt

Tastverhältnis: 1 : 1

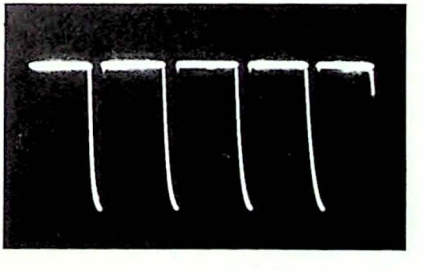


Bild 83. Dieses Oszillogramm wurde an dem Meßpunkt 1 aufgenommen, wobei C 1 gegenüber C 2 wesentlich kleiner gewählt wurde

Tastverhältnis: ~ 1 : 5
(C 1 = 4700 pF; C 2 = 22 nF)

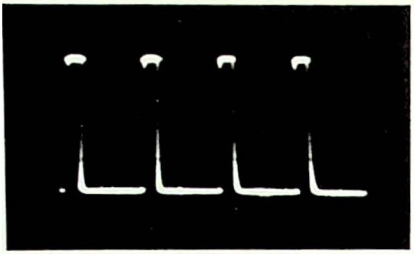


Bild 84. Wie Bild 83, jedoch
$C\,1 \gg C\,2$
Tastverhältnis: $\sim 5 : 1$
$(C\,1 = 0{,}1\ \mu F;\ C\,2 = 22\ nF)$

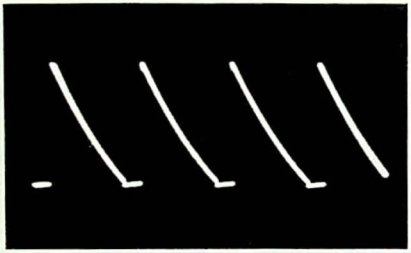


Bild 85. Dieses Oszillogramm wurde an dem Meßpunkt 3 aufgenommen, wobei C 1 gegenüber C 2 wesentlich kleiner gewählt wurde
Tastverhältnis: $\sim 1 : 5$
$(C\,1 = 4700\ pF;\ C\,2 = 22\ nF)$

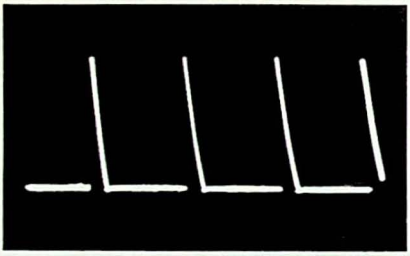


Bild 86. Wie Bild 85, jedoch
$C\,1 \gg C\,2$
Tastverhältnis: $\sim 5 : 1$
$(C\,1 = 0{,}1\ \mu F;\ C\,2 = 22\ nF)$

13.2 Astabiler Multivibrator mit komplementären Transistoren

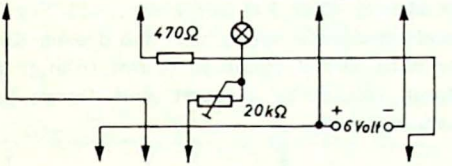
Eine weitere Variante eines astabilen Multivibrators kann man mit zwei komplementären Transistoren aufbauen (**Bild 87** und **Tabelle 36**).

Die Wirkungsweise dieser Schaltung weicht erheblich von der im Abschnitt 13.1 beschriebenen klassischen Multivibratorschaltung ab.

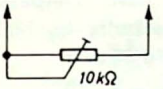
Die hier entstehende Multivibratorschwingung läßt sich etwa auf folgende Weise erklären:

Tabelle 36. Steckerschema zu Bild 87

Grundgerät	a	b	c	d1	d2	e	f	g	h	i	T1 AC 151
							—				



Zusatzgerät I	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	T2 BC 107
						—						50 µF



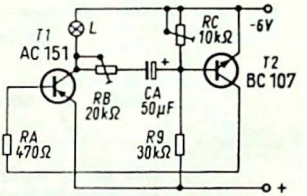


Bild 87. Astabiler Multivibrator mit zwei komplementären Transistoren

Zunächst sind die beiden Transistoren T 1 und T 2 gesperrt. Die Basis von T 2 liegt im ersten Augenblick über die Lampe L, den Widerstand R B und den Kondensator C A auf Emitterpotential. Dann lädt sich C A auf das über den Spannungsteiler R C / R 9 eingestellte Potential auf.

Die Basisspannung des Transistors T 2 wird damit positiv, so daß nun ein Strom durch diesen Transistor zu fließen beginnt. Da die Transistoren T 1 und T 2 so miteinander gekoppelt sind, daß der Kollektorstrom von T 2 gleich dem Basisstrom von T 1 ist, wird hierdurch auch T 2 geöffnet. Die Kollektorspannung von T 1 wird hierdurch noch positiver. Dies hat zur Folge, daß die Basis von T 2 über R B und C A auf ein noch höheres positives Potential gebracht wird. Durch diese Rückkopplung wird

T 1 über T 2 ganz geöffnet, und die Lampe L leuchtet damit voll auf. Die Spannung am Kollektor von T 1 kann jetzt nicht mehr weiter anwachsen, so daß sich nun C A über R C entlädt. Damit wird der entgegengesetzte Vorgang eingeleitet. Der Strom durch T 2 wird kleiner. Dies hat zur Folge, daß der Transistor T 1 wieder mehr und mehr sperrt, und daß dessen Kollektor wieder negativer wird. Der Vorgang setzt sich solange fort, bis beide Transistoren vollständig gesperrt sind. Damit kann das Spiel von neuem beginnen.

13.3 Multivibrator mit Induktivitäten

Wir wissen, daß man mit einer Induktivität L und einem Widerstand R Hoch- bzw. Tiefpässe aufbauen kann, die in ihrem Verhalten vollständig äquivalent einer entsprechenden RC-Schaltung sind (**Bild 88 a, b**).

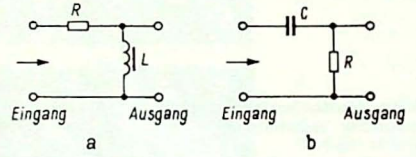


Bild 88. a) Hochpaß, aufgebaut mit einem R/L-Glied; b) Hochpaß, aufgebaut mit einem R/C-Glied

Man kann in diesen Schaltungen die R-, L- und C-Werte so dimensionieren, daß beide Hochpässe genau dieselbe Grenzfrequenz f_g haben. Die Grenzfrequenz f_g ist hierbei so definiert, daß diese als erreicht gilt, wenn der Blindwiderstand gleich dem Widerstand R ist. Daraus ergibt sich

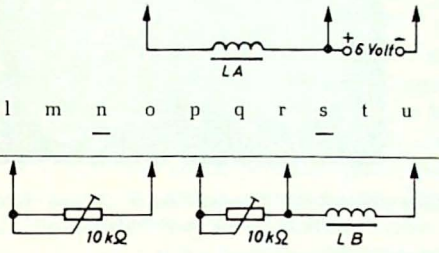
$$\text{für a)} \quad \omega_g L = R \qquad \text{und}$$

$$\text{für b)} \quad \frac{1}{\omega_g C} = R$$

Wir können somit die Grenzfrequenz vergrößern, wenn man bei

Tabelle 37. Steckerschema zu Bild 89

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i			T 1 AC 151
							—						
Zusatz-gerät I	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u		T 2 AC 151
				—					—				



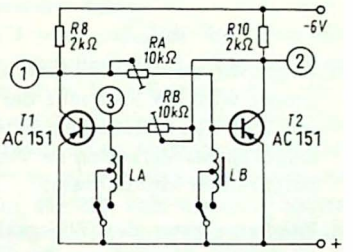


Bild 89. Astabiler Multivibrator, der anstelle von Kapazitäten mit Induktivitäten arbeitet

a) den Widerstand R vergrößert oder die Induktivität L verkleinert;

b) den Widerstand R verkleinert oder die Kapazität C verkleinert.

Da beide Schaltungen gegeneinander austauschbar sind, muß sich somit auch ein klassischer Multivibrator mit Induktivitäten aufbauen lassen, dessen Frequenz von den Induktivitäten L A und L B und den Widerständen R A und R B abhängt (**Bild 89** und **Tabelle 37**).

Die Eigenschaften dieses Multivibrators sind durch die oben beschriebenen Zusammenhänge zwangsweise gekennzeichnet.

Schließt man an die mit 1 bis 3 markierten Punkte dieser Schaltung einen Oszillografen an, so kann man folgendes beobachten (**Bild 90**):

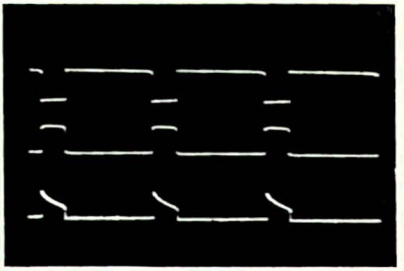


Bild 90. Dieses Dreifach-Oszillogramm wurde an den Punkten 1, 2 und 3 der Schaltung 89 abgenommen

1. Je größer man die Widerstände R A und R B macht, um so größer wird die Frequenz der Schwingung. Wir erhalten hier, wie nach den einleitenden Erläuterungen zu erwarten war, ein umgekehrtes Verhalten im Vergleich zu einem mit Kapazitäten aufgebauten Multivibrator.

2. Wird nur einer der Widerstände R A und R B geändert, so erhält man ein anderes Tastverhältnis.

3. Die Frequenz der Schwingung steht im umgekehrt proportionalen Verhältnis zu den Werten der Induktivitäten L A und L B.

4. Stehen zwei Induktivitäten zur Verfügung, deren Spulen eine Mittelanzapfung besitzen, erkennt man beim Umschalten von der vollen Windungszahl auf die halbe, daß die Frequenz sich vervierfacht. Diese Tatsache zeigt anschaulich im Experiment, daß zwischen der Induktivität und der Windungszahl ein quadratischer Zusammenhang besteht. Wird nur eine Spule umgeschaltet, ergibt sich ein Tastverhältnis von 1 : 4.

Man könnte somit mit dieser Schaltung, wenn man von einer bekannten Induktivität L A ausgeht, über das Tastverhältnis die Größe der unbekannten Induktivität L X abschätzen.

Mit einem derartigen Multivibrator kann man beispielsweise in der Computertechnik sogenannte Kernspeicher direkt ansteuern.

13.4 Multivibrator mit gekoppelten Induktivitäten

Man kann den in **Bild 91** gezeigten Multivibrator noch dahingehend abwandeln, daß man, an Stelle von Einzelinduktivitäten, zwei über einen Eisenkern miteinander gekoppelte Spulen verwendet. Damit sind die beiden Transistoren nicht nur über die Widerstände R A und R B aneinandergekoppelt, sondern auch über den gemeinsamen Transformatorenkern der Spulen.

Dies hat zur Folge, daß das Tastverhältnis weder durch die Induktivitäten L A und L B noch durch die Widerstände R A und R B wesentlich verändert werden kann.

Durch R A, R B, L A und L B wird lediglich die Frequenz, nicht aber das Tastverhältnis beeinflußt. Das Tastverhältnis hat bei dieser Schaltung immer etwa den Wert von 1.

Die entstehende Kurvenform entspricht einer Rechteckschwingung. Man kann für diesen Versuch einen normalen Netztransformator vom Typ NTR 6 verwenden, der neben anderen Wicklungen eine Primärwicklung für 220 Volt und eine Sekundärwicklung von 2 × 300 Volt besitzt. Für L A und L B schließt man die beiden Sekundärwicklungen an. Die Induktivitäten von

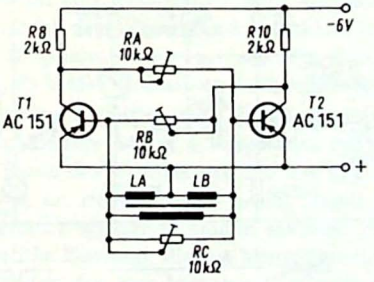


Bild 91. Mit Induktivitäten aufgebauter astabiler Multivibrator, der über den Widerstand R C in einem Frequenzbereich von 100 Hz bis 15 kHz durchgestimmt werden kann

L A und L B kann man nun durch die Gegeninduktion beeinflussen, die entsteht, wenn man die 220 Voltwicklung durch einen veränderlichen Widerstand R C belastet. Die Frequenz der Schwingung kann auf diese Weise in einem beachtlichen Umfang variiert werden (von 100 Hz bis 15 kHz!).

Die Amplitude der Schwingung bleibt dabei nahezu konstant.

13.5 Der monostabile Multivibrator

In **Bild 92** und **Tabelle 38** sind die Schaltung und das Steckerschema des monostabilen Multivibrators wiedergegeben. Dieser Multivibratortyp schwingt nicht selbständig, da er, wie schon aus seinem Namen hervorgeht, nur einen stabilen Zustand besitzt. Wie man leicht mit einem Strommesser nachprüfen kann, fließt in dieser Schaltung tatsächlich nur durch den Transistor T 2 ein Kollektorstrom. Dieser Schaltzustand ist gleichzeitig auch die stabile Lage des Multivibrators.

Der an den Transistor T 2 angeschlossene Glühlampenanzeiger ist gemäß dem Signalplan des Anzeigers in diesem stabilen Zustand der Schaltung stromlos. Erst wenn über den Schalter h ein Impuls auf den Transistor T 1 gelangt, wird der Transistor T 2 für eine kurze Zeit stromlos. Die Glühlampe des Anzeigers leuchtet solange auf, bis der Kondensator C 2 sich über den Wider-

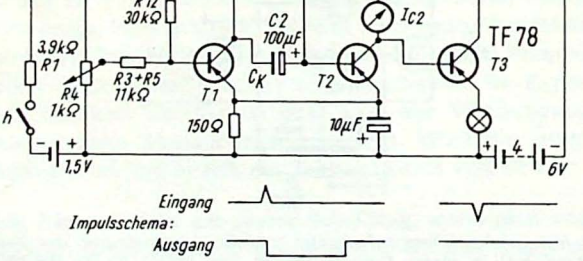


Bild 92. Experimentierschaltung eines monostabilen Multivibrators

Tabelle 38. Steckerschema zu Bild 92

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i		T 1
				–			150 Ω 10 µF		–			AC 151
Zusatz-gerät I	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	T 2
				10 mA	–	–			–		–	AC 151
	↑			↑								
	— 30 kΩ —											

stand R 9 entladen hat. Das Verhalten des Multivibrators entspricht also dem eines Zeitrelais mit Arbeitskontakt.

Die Wirkungsweise des monostabilen Multivibrators kann man sich wie folgt erklären: Im stabilen Zustand des Multivibrators ist der Transistor T 2 stromdurchflossen, weil seine Basis über den Widerstand R 9 an negativem Potential liegt. Am Kollektor des Transistors T 2 liegt daher positives Potential. Damit gelangt über den Widerstand R 12 an die Basis des Transistors T 1 ebenfalls ein nahezu volles positives Potential. Der Transistor T 1 ist damit sicher gesperrt. Wird nun an den Eingang des Multivibrators ein negativer Impuls gegeben, dann fließt kurzzeitig ein Strom über den Basis-Emitter-Stromkreis des Transistors T 1. Der dadurch hervorgerufene Kollektorstrom verursacht einen Spannungsabfall am Kollektorwiderstand R 8. Diese kurzzeitige Änderung wird über den Kondensator C 2 an die Basis des Transistors T 2 übertragen. Seine Basis erhält positives Potential, und der Kollektorstrom des Transistors geht zurück. Dadurch wird der Spannungsabfall am Widerstand R 10 kleiner, und über den Widerstand R 12 gelangt ein negatives Signal an die Basis des Transistors T 1. Er bleibt deshalb stromdurchflossen.

Nun wird aber der Kondensator C 2 mit entgegengesetzter Polarität über den Widerstand R 9 aufgeladen, so daß schließlich wieder an die Basis des Transistors T 2 ein negatives Potential gelangt, wodurch er stromführend wird. Damit ist der monostabile Multivibrator wieder in seinen stabilen Zustand zurückgekippt. Der labile Zustand dieses Multivibrators dauert also solange an, bis sich der Kondensator C 2 nach dem ursprünglichen Impuls des Transistors T 1 über den Widerstand R 9 mit entgegengesetzter Polarität wieder aufgeladen hat. Für die Im-

pulsdauer gilt auch die Gleichung $T = B \cdot R_B \cdot C_K$. Darin ist B eine experimentell zu ermittelnde Proportionalitätskonstante.

13.6 Monostabiler Multivibrator mit Lichtrückkopplung

Mit dem hier besprochenen monostabilen Multivibrator läßt sich noch ein recht lehrreicher Versuch durchführen, wenn man die Impulsauslösung durch eine Fotozelle vornimmt (**Bild 93** und **Tabelle 39**). Man kann auch bei dieser Schaltung feststellen, daß die Zeitdauer des Umkippens vom stabilen in den labilen Zustand nicht von der Länge des Eingangssignals an der Fotodiode abhängt. Diese Zeit wird allein von den zeitbestimmenden Gliedern C 2 und R 9 beeinflußt. Die vorher beschriebene Schaltung wird nun dadurch abgeändert, daß der Glühlampenanzeiger nicht mehr an den Transistor T 2, sondern an den Transistor T 1 angeschlossen wird. Dann leuchtet die Signallampe bereits im stabilen Zustand auf, weil Transistor T 1 in diesem Zustand stromlos ist.

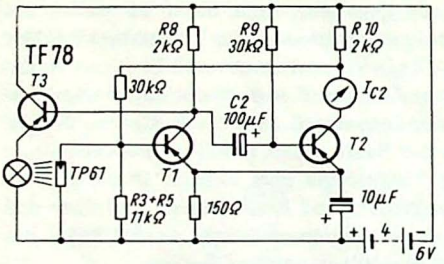


Bild 93. Monostabiler Multivibrator mit optischer Impulsauslösung

Tabelle 39. Steckerschema zu Bild 93

Grund-gerät	a	b TP 61	c	d 1 –	d 2	e	f 150 Ω 10 µF	g	h	i			T 1 AC 151
Zusatz-gerät I	k	l	m	n 5 mA	o –	p –	q	r	s –	t	u –		T 2 AC 151

30 kΩ

Sobald man nun die Fotodiode am Eingang des Transistors T 1 belichtet, wird ein Eingangsimpuls ausgelöst, der den monostabilen Multivibrator umkippen läßt. Die Signallampe bleibt solange dunkel, wie der labile Zustand dieser Schaltung dauert.

Wird nun die Fotodiode nicht mit einer fremden Lichtquelle belichtet, sondern durch die im stabilen Zustand des Multivibrators brennende Signallampe, so erhält der monostabile Multivibrator von dieser Lampe einen Impuls zum Umkippen. Dadurch wird diese Lampe zum Erlöschen gebracht. Sobald die eingestellte Impulsdauer abgelaufen ist, leuchtet die Signallampe wieder auf und gibt damit erneut einen Impuls über die Fotodiode auf den Eingang des Multivibrators. Auf diese Weise entstehen durch Lichtrückkopplung Multivibratorschwingungen, deren Frequenz einerseits von dem Zeitglied des monostabilen Multivibrators und andererseits von der Trägheit der Glühlampe abhängig ist. Die Schwingung hört sofort auf, sobald der Lichtstrahl zur Fotodiode unterbrochen wird.

13.7 Der bistabile Multivibrator

Wie bereits der Name dieses Multivibratortyps aussagt, gibt es in dieser Schaltung zwei stabile Zustände für die Transistoren T 1 und T 2. Wenn man an den Eingang des bistabilen Multivibrators positive bzw. negative Impulse bringt, kippt diese Schaltung

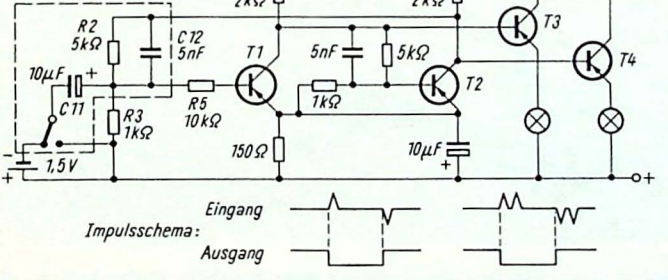


Bild 94. Experimentierschaltung eines bistabilen Multivibrators. Der jeweilige Signalzustand wird durch zwei Glühlampenanzeiger signalisiert

Tabelle 40. Steckerschema zu Bild 94

Grund-	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i			T 1
gerät		5 nF		–			150 Ω 10 µF						AC 151
Zusatz-	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u		T 2
gerät I				–	–				–				AC 151
							5 kΩ 5 nF						

von dem einen stabilen in den anderen stabilen Zustand über. Dabei müssen allerdings die auslösenden Impulse abwechselnd ihre Polarität ändern. In **Bild 94** und **Tabelle 40** ist die Experimentierschaltung des bistabilen Multivibrators wiedergegeben.

Die Wirkungsweise ist folgende: Man gehe davon aus, daß zunächst der Transistor T 1 stromdurchflossen ist. Damit ist zwangsläufig der Transistor T 2 gesperrt, weil wegen des Spannungsabfalls am Widerstand R 8 an dessen Basis eine positive Spannung anliegt. Gelangt nun über den Kondensator C 11 an die

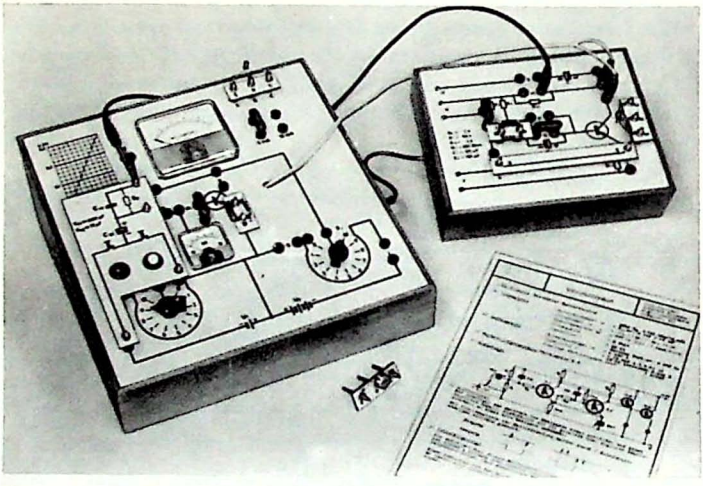


Bild 95. Versuchsaufbau zur Erprobung eines bistabilen Multivibrators. Obwohl diese Schaltung bereits recht umfangreich ist, bleibt die Anordnung anschaulich und übersichtlich

Basis des Transistors T 1 ein positives Signal, so wird dieser kurzzeitig gesperrt, und an die Basis des Transistors T 2 gelangt jetzt über den Widerstand R 8 ein negatives Potential. Damit fließt durch den Transistor T 2 ein Strom, der seinerseits wieder infolge des Spannungsabfalles am Widerstand R 10 den Transistor T 1 endgültig sperrt. Ein negativer Impuls an der Basis des Transistors T 1 öffnet diesen wieder, und die Anordnung kann wieder in die alte Ruhelage zurückkippen.

Zur Anzeige der Signalzustände der Transistoren T 1 und T 2 werden je ein Glühlampenanzeiger angeschlossen. Auf diese Weise läßt sich das Arbeiten eines bistabilen Multivibrators sehr anschaulich vorführen. **Bild 95** zeigt diesen Experimentieraufbau. Werden über den Signaleingang des Multivibrators nacheinander positive oder negative Impulse eingegeben, so kippt der bistabile Multivibrator nur mit dem ersten Impuls um. Die folgenden Impulse gleicher Polarität bleiben ohne Wirkung.

14 Sonderschaltungen

14.1 Der Schmitt-Trigger

An das Grundgerät wird an die für den Glühlampenanzeiger vorgesehene dreipolige Steckverbindung ein auf ein Steckerplättchen montiertes Potentiometer mit einem Vorwiderstand von 2 kΩ gemäß **Bild 96** und **Tabelle 41** angeschlossen. Die Eingangsspannung für diesen Schmitt-Trigger entnimmt man einem Tongenerator, der eine von 30 Hz bis 20 kHz veränderliche Frequenz abgeben kann. Die Ausgangsspannung des Tongenerators sei von 0...4 V einstellbar. Am Ausgang des Schmitt-Triggers ist ein Elektronenstrahl-Oszillograf angeschlossen.

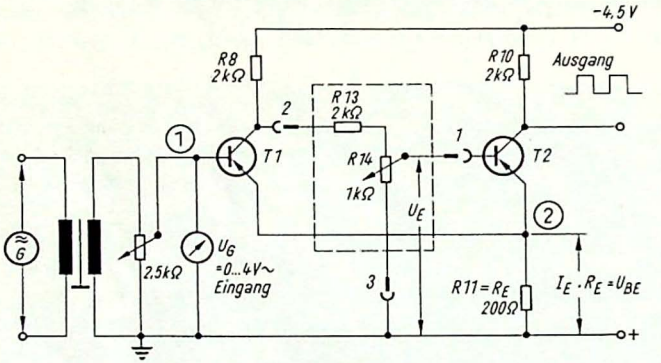


Bild 96. Experimentierschaltung eines Schmitt-Triggers. An den Eingang dieses Triggers ist ein Tonfrequenz-Generator mit einer von 0 V bis 4 V einstellbaren Ausgangsspannung angeschlossen

Tabelle 41. Steckerschema zu Bild 96

Grund-gerät	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i			T 1 AC 151
				↑	Eingang		↑			–			
Zusatz-gerät I	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t		u	T 2 AC 151
				–					–	200 Ω			

R 14 ←↑

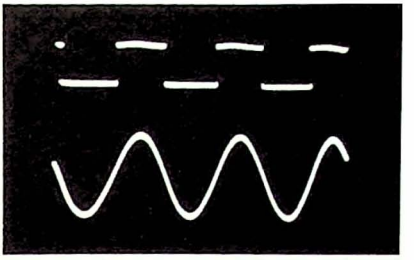


Bild 97. Schmitt-Trigger. Dieses Oszillogramm wurde ebenfalls über einen elektronischen Schalter an den Meßpunkten 1 und 2 der Schaltung des Bildes 96 aufgenommen. Am Punkt 1 sehen wir die Eingangssinusspannung, die bei etwa 4 V den Schmitt-Trigger auslöst. An Punkt 2 sieht man die Ausgangsrechteckspannung mit genau derselben Frequenz, wie die Sinusspannung am Eingang des Schmitt-Triggers

Wird diese Versuchsanordnung in Betrieb genommen, so ist zu beobachten, daß von einer bestimmten Höhe der Eingangswechselspannung an am Ausgang des Triggers eine einwandfreie Rechteckspannung entsteht. Die Frequenz dieser Rechteckspannung ist dabei identisch mit der Frequenz der Eingangswechselspannung (**Bild 97**).

Ferner ist an dieser Schaltung gut zu beobachten, wie die Spannung U_G, bei der die Triggerung einsetzt, mit dem Potentiometer R 14 eingestellt werden kann. Wird für diese Messung an den Eingang des Triggers eine 50-Hz-Wechselspannung angelegt, dann kann hierfür ein normaler Wechselspannungsmesser verwendet werden.

Die Wirkungsweise der Schaltung ist folgende: Der Transistor T 2 ist im Ruhezustand stromführend, da seine Basis über die Widerstände R 8 und R 13 ein negatives Potential erhält. Durch den Transistor T 1 fließt im Emitter-Kollektorkreis, solange keine Eingangswechselspannung anliegt, nur der Strom I_{Ck}. Der Transistor T 1 wird aber in dem Augenblick leitend, in dem die Eingangsspannung größer wird als der durch den Emitterstrom des Transistors T 2 an dem Widerstand R 11 hervorgerufene Spannungsabfall. Sobald der Transistor T 1 stromführend geworden ist, entsteht an dem Widerstand R 8 ein Spannungsabfall. Er läßt die an dem Potentiometer R 14 eingestellte Basisspannung des Transistors T 2 kleiner als den Spannungsabfall am Widerstand R 11 werden. Dadurch sperrt der Transistor T 2, zumal jetzt an R 11 wieder ein von dem Emitterstrom des Transistors T 1 herrührender Spannungsabfall liegt.

Die negative Eingangsspannung am Transistor T 1, bei der der Transistor T 2 gesperrt werden kann, hängt zwangsläufig davon ab, wie groß die am Potentiometer R 14 eingestellte Basisspannung ist. Geht die Spannung am Eingang des Transistors T 1 unter den Wert des an dem Widerstand R 11 liegenden Spannungsabfalles zurück, so wird dieser Transistor erneut gesperrt. Über die Widerstände R 8 und R 13 kann dann wieder nahezu die gesamte negative Batteriespannung an das Potentiometer R 14 gelangen. Damit wird der Transistor T 2 leitend, und das Spiel wiederholt sich, sobald die nächste negative Halbwelle der Eingangswechselspannung den Schwellenwert U_G überschreitet.

14.2 Modell eines kontaktlosen Relais mit einer Feldplatte

Seit einiger Zeit ist auf dem Markt ein Halbleiterbauelement erhältlich, das seinen Widerstandswert ändert, sobald es in ein magnetisches Feld gebracht wird. Der Widerstandswert nimmt

Tabelle 42. Steckerschema zu Bild 98

Grund-	a	b	c	d 1	d 2	e	f	g	h	i		T 1
gerät	10 k		—	—			—			6 Volt		AC 151
					FP 30 D 220							
Zusatz-	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	T 2
gerät I				—	—		—			—	—	AC 151

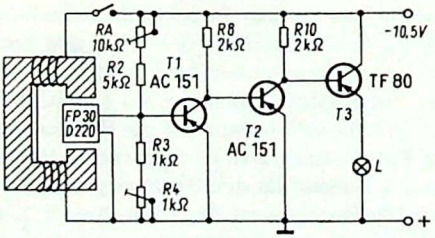


Bild 98. Kontaktloser Schalter mit Feldplatte FP 30 D 220

dabei mit zunehmender Feldstärke zu. Auf Grund dieser Tatsache kann man ein Modell eines Relais bauen, das wohl eine Magnetspule hat, aber keinen mechanischen, sondern einen elektronischen Kontakt in Form eines Transistors.

In **Bild 98** und in **Tabelle 42** ist zunächst die Schaltung eines empfindlichen Gleichstromverstärkers aufgebaut. Am Eingang dieses Verstärkers ist die Feldplatte FP 30 D 220 angeschlossen. Die Feldplatte selbst befindet sich zwischen dem möglichst klein gehaltenen Luftspalt (ca. 1,0 mm) eines Elektromagneten. Mit dem veränderlichen Widerstand R A wird die Basisspannung so eingestellt, daß die Lampe L gerade noch nicht aufleuchtet.

In diesem Zustand ist der Transistor T 1 gesperrt, der Transistor T 2 stromführend, so daß an der Basis des Transistors T 3 das Emitterpotential anliegt.

Wird nun der Elektromagnet erregt, dann steigt der Widerstand der Feldplatte an und damit die Basisspannung am Transistor T 1. Der Transistor T 1 wird leitend, was zur Folge hat, daß T 2 sperrt.

Die Kollektorspannung von T 2 nimmt nahezu den Wert der Batteriespannung an, und damit wird der Transistor T 3 ganz aufgesteuert. Die Lampe L leuchtet nun voll auf, da der Transistor T 3 hier wie ein geschlossener Kontakt wirkt.

Tabelle 43. Im Mustergerät verwendete Einzelteile

Grundgerät nach Bild 3

1 Befestigungsplatte für 4 Mignonzellen aus schwarzem Resopal
2 Batteriehalter für je 2 Mignonzellen
1 Drehspulinstrument 0...1 mA, Typ MR 3 P
1 Drehspulinstrument, Typ MR 38 P (I_B)
30 isolierte Telefonbuchsen
2 Bananenstecker mit biegsamer Hülse
1 einpoliger Ausschalter
1 Schichtpotentiometer, 1 kΩ, 0,5 W
1 Schichtpotentiometer, 100 Ω, 0,5W
1 Trimmpotentiometer, 1,5 kΩ, 0,1W
1 Normbuchse, dreipolig
1 Normbuchse, fünfpolig
2 Zeigerdrehknöpfe
8 Verbindungsstecker mit griffigem Isolierteil, Stiftabstand 19 mm
7 Schichtwiderstände, 0,5 W: 11 Ω, 22 Ω, 1 kΩ, 3,9 kΩ, 5,1 kΩ, 2×10 kΩ

Zusatzgerät nach Bild 72

24 isolierte Telefonbuchsen
3 Schichtwiderstände 0,5 W: 2 × 2 kΩ, 30 kΩ
2 Elektrolytkondensatoren, 100 µF/35 V
80 cm Mikrofonkabel, fünfadrig
1 Normstecker, fünfpolig
4 Verbindungsstecker mit griffigem Isolierteil, Stiftabstand 19 mm

Glühlampenanzeiger

6 isolierte Telefonbuchsen
50 cm Mikrofonkabel, dreiadrig
1 Normstecker, dreipolig
1 Glühlampe, 6 V, 0,5 W
1 Glühlampenfassung

Teile für die Steckerplättchen

Relaisplatte:

1 Siemens-Kammrelais mit 2 Umschaltkontakten, Typ Trls 154 c
6 isolierte Telefonbuchsen
2 Einbausteckerstifte mit Sechskantbund und Gewindebolzen M 4 × 15 (gilt für jedes Steckerplättchen)

Transistorsteckerplättchen mit Signalglimmlampe:

2 isolierte Telefonbuchsen
1 Signalglimmlampe TG 121 A (Neumüller & Co., München)
2 Schichtwiderstände, 0,5 W: 10 kΩ, 220 kΩ

Impulsgeberplatte für bistabilen Multivibrator:

2 Einbau-Druckknopftaster mit je einem Arbeitskontakt für Lochdurchmesser 18 mm
1 Elektrolytkondensator, 10 µF, 15 V
1 Kondensator 5 nF

Experimentierplatte für Schmitt-Trigger:

1 isolierte Telefonbuchse
1 Schichtpotentiometer, 1 kΩ linear, 0,5 W
1 Schichtwiderstand, 1 kΩ, 0,5 W
50 cm Mikrofonkabel, zweiadrig
1 Zeigerdrehknopf

Auf 2polige Steckerplättchen montierte Bauelemente:

1 Schichtwiderstand, 50 Ω, 0,5 W
1 Schichtwiderstand, 100 Ω, 0,5 W
1 Schichtwiderstand, 200 Ω, 0,5 W
1 Schichtwiderstand, 470 Ω, 0,5 W
1 Schichtwiderstand, 1 kΩ, 0,5 W
1 Schichtwiderstand, 10 Ω, 0,5 W
1 Schichtwiderstand, 50 Ω, 0,5 W
1 Schichtwiderstand, 30 kΩ, 0,5 W (Steckerabstand 2,7 mm)

1 Trimmerpotentiometer, 5 kΩ, 0,5 W
2 Trimmerpotentiometer, 10 kΩ, 0,5 W
1 Trimmerpotentiometer, 25 kΩ, 0,5 W
1 Trimmerpotentiometer, 50 kΩ, 0,5 W

2 Kondensatoren 0,04 µF
1 Kondensator 0,1 µF

1 NV-Elektrolytkondensator, 25 µF, 30 V
1 NV-Elektrolytkondensator, 100 µF, 30 V

1 Schichtwiderstand, 5,1 kΩ, 0,5 W
parallel zu einem Kondensator 5 µF
1 Schichtwiderstand, 150 Ω, 0,5 W
parallel zu einem Kondensator, 10 µ, 15 V

1 Heißleiter mit einem Kaltwiderstand von 4 kΩ (bei 20 °C)

1 Fotodiode, Typ TP 50, Siemens
1 Fotowiderstand, Typ LDR 03, Valvo
1 Glühlampe mit E-14-Fassung
1 Vierschichtdiode, Typ 4 E 20–28, Intermetall
1 Tunneldiode, Typ TD 716
1 Diac, Typ 40 583, RCA
1 Feldplatte, Typ FP 30 D 220, Siemens

Auf 3polige Steckerplättchen montierte Halbleiter-Bauelemente:

1 Thyristor, Typ T 0,8 N, AEG
1 Triac, Typ 40 430, RCA

1 Unijunktion-Transistor, Typ 2 N 2646
1 npn-Transistor BC 107, Siemens

Nicht montierte Bauelemente:

1 Drehwiderstand, 10 Ω, 25 W
1 Drehwiderstand, 50 Ω, 10 W
1 Drehwiderstand, 100 Ω, 10 W

1 Induktivität mit ca. 42 mH
1 Induktivität mit ca. 195 mH
1 Bipolarer Kondensator, 10 µF, 70 V
1 Netztransformator, Typ NTR 6, Arlt oHG

Sämtliche Teile sind jeweils auf einem Kunstharzplättchen montiert. Der Steckerabstand beträgt 19 mm. Als Stecker werden Einbaustecker-stifte mit M-4-Gewinde verwendet.

Literatur

Telefunken-Fachbuch: Der Transistor I. Franzis-Verlag, München.

Dr.-Ing. habil. Curt Moerder: Transistortechnik. B. G. Teubner, Stuttgart.

Dipl.-Ing. Helmut Rotfuß: Transistor-Meßpraxis. Franckh, Stuttgart.

Siemens & Halske AG: Halbleiter-Schaltbeispiele 1963.

Funktechnische Arbeitsblätter: Hi 02, Kennlinien des Transistors; Hi 03, Der Transistor. Franzis-Verlag, München.

Zusätzliche Literaturhinweise

ELEKTRONIK, Nr. 1, Januar 1968, Seite 13 und folgende: Rund um den Unijunktion-Transistor.

Radio-Electronics, Juni 1970: 20 Triacs Circuits.

Radio Electronics, Juni 1969: 20 Experimenters SCR Circuits.

Hans Keller: Die Silizium-Vierschichtdiode. Sonderdruck der Firma Intermetall 13/1962.

Sachregister

A

Arbeits|kennlinie 39
– punkt 62, 63
– widerstand 39
Astabiler Multivibrator
– mit einem Diac 79
– mit einem Unijunktion-transistor 61
– mit einer Tunneldiode 61
– mit einer Vierschichtdiode 55
– mit komplementären Transistoren 90
– mit zwei Induktivitäten 92
– mit zwei pnp-Transistoren 86

B

Basis|spannung 13
– strom 13, 22, 27
– stromkreis 21, 29
Bistabiler Multivibrator 99, 100, 101
Blindwiderstand 92

D

Dämmerungsschalter 37
Diac 77, 80
Differentieller Widerstand 24
Durchlaßrichtung 30, 47

E

Eichkurve für die Basisspannung 12, 13, 21
Eigenerwärmung 13, 23, 24
Eingangskennlinie 27, 28
Elektromagnet 105
Elektronischer Schalter 89
Elektronische Sirene 66
Elektronisches Thermometer 32
Emitter-Basiskopplung 42
– -Kollektorkreis 13, 20, 32
– strom 26
Experimentiernetzgerät 17

F

Feld|platte 104
– stärke 105
Foto|diode 18, 33, 34, 37, 83
– stromverstärker 33
– widerstand 37, 49, 83

G

Gegeninduktion 96
Germanium-Transistor 23
Gleichstromverstärker 82, 83
Glühlampenanzeiger 40
Grenz|frequenz 92
– schicht 59

H

Halte|spannung 70
– strom 54
Heißleiter 32, 33, 36
Hochpaß-Filter 92
Höckerstrom 60

I

Indikatorkatode 44
Innenwiderstand 52

K

Kaltwiderstand 32
Kammrelais 34, 35
Kapazitätsdekade 17
Kennlinie der Zenerdiode 31
Kennlinienfeld 20, 22, 24
Knickspannung 24
– des Diacs 78
– der Tunneldiode 60, 61
– der Vierschichtdiode 54
Kollektor-Basiskopplung 41, 43
Kollektor|spannung 13
– strom 22, 23, 25, 27
Kühlschellen 23

L

Lastwiderstand 47
Leistungsgrenze 23
Licht|modulation 85
– rückkopplung 99
– schranke 36

M

Monostabiler Multivibrator 96, 97, 98, 99

N

Negativer Widerstand 62, 53, 57, 60
Nulldurchgang 73

P

Phasen|anschnittsteuerung 76
– drehung 83
Proportionalitätskonstante 98

R

Regelmodell 36
Rückkopplung 91

S

Sägezahngenerator 54
Schalt|transistor 39
– zustand 51, 64
Schmitt-Trigger 102, 103
Schwellspannung 65, 66
Schwingkreis 57
Selbsthaltung 69
Signal|glimmlampe 44, 45
– schema 42, 43
Sinusoszillator 56
Sperrbereich 30
Steckerschema 15
Steuerkennlinie 26
Strom|gegenkopplung 28, 29
– verstärkungsfaktor 22, 27, 33, 34

T

Tastenschalter 24
Tastverhältnis 63, 94
Temperaturdurchgriff 22, 23
Thermisches Gleichgewicht 23
Thyristor 69
Tiefpaß-Filter 92
Transistor|kristall 24
– relais 34
Triac 69
Tunneldiode 59

U

Unijunktion-Transistor 64, 65
Unterdruckverfahren 10

V

Verlustwiderstand 57
Verzögerungszeit 67
Vierschichtdiode 51, 52, 54

W

Wärmeableitung 23
Wechselspannungsverstärker 84
Widerstandsdekade 17
Widerstandsmeßgerät 38

Z

Zählimpuls 36
Zeitglied 17
Zeitkonstante 17, 18
Zeitrelais 67
Zener|diode 30, 46
– spannung 31, 47
Zünd|elektrode 69
– kreis 71
Zweipol 51

81/83 Die elektrischen Grundlagen der Radiotechnik (Leucht). 9. Aufl.

84 Fernsehantennen-Praxis (Mende). 10. Aufl.

86/87 Berufskunde für Radio- und Fernsehtechniker und verwandte Berufe (Rose). 3. Aufl.

88 Schliche und Kniffe für Radiopraktiker Teil II (Kühne). 5. Aufl.

89/90a Autoempfänger (Manzke). 2. Aufl.

91/92 Superhet-Empfänger mit Röhren und mit Halbleitern (Sutaner). 3. Aufl.

93/94 Transistorschaltungen für die Modellfernsteuerung (Bruß). 6. Aufl.

95/96 Fotozellen und ihre Anwendung (Leitz/Hesselbach). 3. Aufl.

97/98a Kleines Stereo-Praktikum (Kühne/Stzner). 4. Aufl.

99/99a Wie arbeite ich mit dem Elektronenstrahl-Oszillografen? (Sutaner). Aufl.

00/100a Daten- und Tabellensammlung Radiopraktiker und Elektroniker ende). 3. Aufl.

01/102 Elektronische Orgeln und ihr lbstbau (Böhm). 4. Aufl.

Die Wobbelsender (Sutaner). 3. Aufl.

Transistorsender für die Fernsteuerung (Bruß). 4. Aufl.

03/05b Lautsprecher und Lautsprechergehäuse für HiFi (Klinger). 5. Aufl.

06/07a Netztransformatoren und Drosseln (Klein). 3. Aufl.

Amateurfunk-Superhets (Gerzelka). Aufl.

08/10 Transistor-Amateurfunkgeräte für 2-m-Band (Reithofer). 3. Aufl.

11/12 Meßinstrumente und ihre Anwendung (Köhler). 3. Aufl.

Elektronische Experimente (Bier). 3. Aufl.

13/14a Halbleiter-Experimente (Kleemann). 3. Aufl.

15/16 Elektronische Schaltungen mit Fotozellen (Hennig). 2. Aufl.

17/18 Einseitenbandtechnik für den Amateur (Hillebrand). 2. Aufl.

19/20 Gedruckte Schaltungen (Sutaner). Aufl.

21/23 Bastelpraxis Band IV. Transistorpraxis (Diefenbach). 2. Aufl.

24/25 Technische Akustik (Klinger).

126/27 Betriebstechnik des Amateurfunks (Henske). 2. Aufl.

128/30 Meßsender, Frequenzmesser und Multivibratoren (Sutaner). 2. Aufl.

131/33 Elektronische Grundschaltungen (Schweigert). 2. Aufl.

134/35 Kleines Halbleiter-ABC (Büscher, Wiegelmann). 2. Aufl.

136 Transistorisierte Netzgeräte (Strobel).

137/40 Farbfernsehen (Welland). 2. Aufl.

141/42 Dipmeter mit Röhren, Transistoren und Tunneldioden (Reithofer). 2. Aufl.

143/44 Stereo-Decoder, Funktion und Schaltungstechnik (Ratheiser).

145/46 Transistor-Gleichspannungswandler (Schweitzer).

147/52 Erfolgreicher Fernseh-Service (Lummer). 2. Aufl. DM 15.80.

153/56 Fernsehempfänger-Schaltungstechnik (Koubek). DM 10.80.

157/58 Meßgeräte und Meßverfahren für den Funkamateur (Link).

160/62 Relais (Köhler).

163/65c Regelungstechnik für Radio und Fernsehtechniker und Elektronike (Schweigert). DM 15.80.

166/67 Elektronik im Kraftfahrzeug (Stieber/Wilk).

168/70 Vademekum für den Funkamateur KW und UKW (Diefenbach). 4. Aufl.

301/03 Nf-Elektronik (Sabrowsky). 2. Aufl.

304/06 Transistor-Schaltverstärker (Sabrowsky). 2. Aufl.

307/09 Elektronische Schranken und Wächter (Sabrowsky). 2. Aufl.

310/12 Thyristor-Schalter und -Regler für den Heim- und Werkstattgebrauch (Sabrowsky). 1. Aufl.

313/15 Elektronische Hilfsgeräte für den Heim- und Werkstattgebrauch (Sabrowsky). 1. Aufl.

316/18 Digitale Experimentier-Bausteine (Sabrowsky). 1. Aufl.

319/321 Der leichte Start zum Funkfernsteuern (Sabrowsky). 1. Aufl.

322/324 Impulstechnik für jedermann (Sabrowsky). 1. Aufl.

325/327 Sinus-, Rechteck- und Impulsgeneratoren für Prüf- und Meßzwecke (Sabrowsky). 1. Aufl.

331/34 Verstärkerbau mit integrierten Schaltungen (Wirsum). 1. Aufl. DM 10.80.

KLEEMANN, JOHANNES

Halbleiter-Experimente

Ein System zum Einarbeiten in die Halbleitertechnik 3. Auflage

114/114a
Doppel-Band

In dem vorliegenden Radio-Praktiker-Band werden mit Hilfe von grundlegenden Versuchen die Eigenschaften von Transistoren vorgeführt. Anschließend lernt der Leser wichtige Grundschaltungen der modernen Elektronik, wie ein- und zweistufige Verstärker mit Anwendungsbeispielen, den Transistor als Schalter und die verschiedenen Multivibratorschaltungen, im Experiment kennen. Wenn sich der Leser die Zeit nimmt und das vom Verfasser angewandte Experimentiersystem nachbaut, so können die Anweisungen für den Versuchsaufbau einfachen und übersichtlichen, in diesem Band wiedergegebenen Steckerschemen entnommen werden.

Der Verfasser, Jahrgang 1929, hat an der Technischen Hochschule in Stuttgart Physik und Nachrichtentechnik studiert. Im Anschluß an sein Studium war er sechs Jahre auf dem Gebiet der elektrischen Meßtechnik in der Firma Siemens & Halske tätig, und er hatte auf diese Weise reichlich Gelegenheit, sein im Studium erworbenes Fachwissen in die Praxis umzusetzen.
Heute unterhält der Verfasser freiberuflich ein Labor zur Entwicklung von elektronischen Geräten und Schaltungen für die Industrie. Trotz der vielen beruflichen Aufgaben des Verfassers konnte er sich bis zum heutigen Tage die Freude am Experiment erhalten.

ISBN 3-7723-1143-1

RADIO-PRAKTIKER BÜCHEREI